

PEDRO SARAVIA PATON

ESTIMATIVAS DE VOLUMES INDIVIDUAIS EXPRESSOS EM METROS CÚBICOS  
SÓLIDO E ESTÉREOS, PARA BRACATINGA *Mimosa scabrella* Benth. EM  
POVOAMENTOS NATURAIS MADUROS

Dissertação submetida à consideração  
da Comissão Examinadora, como requi-  
sito parcial para a obtenção do Títu-  
lo de "Mestre em Ciências-M.Sc." no  
Curso de Pós-graduação em Engenharia  
Florestal do Setor de Ciências Agrá-  
rias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1984



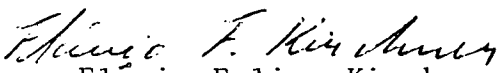
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

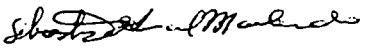
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL


## PARECER

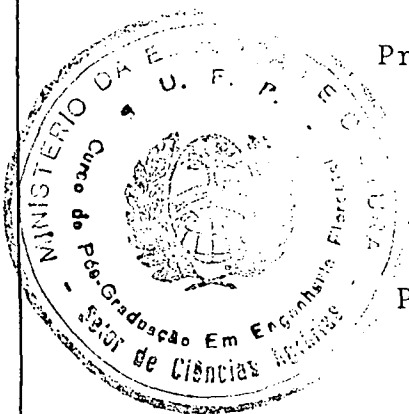
Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato PEDRO SARAIVA PATON, sob o título "ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EXPRESSOS EM METRO CUBICO SÓLIDO E ESTEREO PARA BRACATINGA *Mimosa scabrella* Benth EM POVOAMENTOS NATURAIS MADUROS" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 23 de outubro de 1984.

  
Professor Flávio Felipe Kirchner, DR.  
Primeiro Examinador

  
Professor Sebastião do Amaral Machado, Ph.D  
Segundo Examinador

  
Professor Roberto Tuyoshi Hosokawa, DR.  
Presidente



A meus pais:

Victor Saravia G. e  
Eugenia P. de Saravia

A minha esposa e filha

DEDICO.

### AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar os seus sinceros agradecimentos ao professor orientador Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa por sua dedicação e colaboração em todas as fases do trabalho.

Ao professor co-orientador Willian Wendling pelo auxílio oferecido no processamento de dados.

Ao professor co-orientador Dr. Sylvio Péllico Netto pelas críticas construtivas no decorrer do mesmo.

Ao professor Dr. Flávio F. Kirchner pelo esclarecimento das dúvidas que surgiram durante a execução do trabalho.

Ao professor Henrique Soares Kõeller por sua cooperação nas operações computacionais efetuadas no Laboratório de Biometria e Processamento de Dados do Setor de Ciências Agrárias.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, por possibilitar a realização do curso.

Ao DAAD pela colaboração financeira através da bolsa de estudos durante os 18 meses iniciais do curso de pós-graduação.

Ao CDF (Centro de Desarrollo Forestal), instituição do Ministerio de Agricultura e Asuntos Campesinos da Bolívia, por ter permitido a liberação para a realização do curso.

As seguintes autoridades por ter colaborado e facilitado no levantamento de dados de campo permitindo o abate de árvores de bracatinga: Mauro Silva Reis, Presidente do IBDF,

Hamilton Martins Silveira, Secretário Geral do IBDF, Lauro Quadros, Diretor do DPq do IBDF, Adineia Barcellos Toffano, Diretora Substituta do DPq do IBDF, Agostinho Gomes da Fonseca, coordenador do DPq do IBDF, General Alcindo Pereira Gonçalves, Delegado do IBDF de Curitiba, Nilton Melquiades da Silva, Delegado Substituto do IBDF de Curitiba, Ernesto da Silva Araújo, Mentor do Projeto pelo IBDF, Rômulo Grodzki, Diretor da Flona de Açungui.

Aos professores e colegas que direta e indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

Finalmente quero fazer extensivo meus agradecimentos e aqueles amigos que me alentaram constantemente.

## BIOGRAFIA

PEDRO SARAVIA PATON, filho de Victor Saravia Guillen e Eugenia P. de Saravia, nasceu em Tarata, Cochabamba, República da Bolívia, no dia 18 de outubro de 1949.

Concluiu o curso primário em 1962 e o curso ginásial em 1968, no colégio Rafael Bustillo de Uncia Potosí, Bolívia.

Iniciou em 1970 na Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Autônoma Juan Misael Saracho de Tarija - Bolívia, concluindo o curso em 1975.

De 1976 a 1978, foi professor colaborador da Universidade Autônoma Juan Misael Saracho de Tarija-Bolívia, nas disciplinas: Introdução às Matemáticas e Fisiología Vegetal.

Em 1979 obteve o Título de Licenciado em Engenharia Florestal, exercendo após suas atividades profissionais no Centro de Desenvolvimento Florestal de Cochabamba - Bolívia, como Chefe do Departamento de Bosques.

Em 1980 foi professor da Escola Técnica Florestal contraparte Nacional ante a missão Florestal da Alemanha nas disciplinas de: Dasometria, Inventário e Fotointerpretação Florestal.

Em 1981 iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, área de Concentração de Manejo Florestal, opção Manejo Florestal, concluindo parte de seus pré-requisitos (créditos) em 1982.

## SUMÁRIO

	<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	viii
	<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	ix
	<u>RESUMO</u> .....	xiv
1	<u>INTRODUÇÃO</u> .....	01
2	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	06
2.1	TABELAS DE VOLUME .....	06
2.1.1	Cálculo de volumes .....	06
2.1.2	Empilhamento da madeira .....	09
2.1.2.1	Fator de Empilhamento .....	11
2.1.2.2	Determinação do Fator de Empilhamento .....	12
2.2	CONSTRUÇÃO DE TABELAS .....	15
2.2.1	Equações de volume sólido .....	17
2.2.2	Equações de volume para estéreos .....	20
2.2.2.1	Construção e seleção de variáveis .....	22
2.2.3	Relação do volume comercial com casca (Vcc), volume sólido aproveitável com casca (Vsol) e volume em estéreos (Vst) .....	28
3	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	31
3.1	ASPECTOS GERAIS DA ÁREA EM ESTUDO .....	31
3.2	GEOLOGIA E SOLOS .....	34
3.3	AMOSTRAGEM .....	36
3.4	NÚMERO DE AMOSTRAS .....	36

3.5	COLETA DE DADOS .....	37
3.6	EMPILHAMENTO DA MADEIRA .....	39
3.7	DETERMINAÇÃO DO VOLUME COMERCIAL COM CASCA (Vcc) ..	41
3.8	DETERMINAÇÃO DO VOLUME EM ESTÉREOS (Vst) .....	43
3.9	DETERMINAÇÃO DO FATOR DE EMPILHAMENTO .....	44
3.10	ESCOLHA DAS EQUAÇÕES .....	46
3.11	ANÁLISE DE RESÍDUOS .....	48
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	51
4.1	ESCOLHA DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO PARA TABELA DE VOLUME COMERCIAL COM CASCA (Vcc) .....	51
4.1.1	Critério de coeficiente de determinação múlti- pla ( $R^2$ ) .....	53
4.1.2	Erro padrão residual (Syx) .....	53
4.1.3	Critério estatístico F .....	53
4.1.4	Índice de Furnival .....	53
4.2	ESCOLHA DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO PARA TABE- LAS DE VOLUME EM ESTÉREOS (Vst) .....	57
4.3	COEFICIENTE DE EMPILHAMENTO (Fc) .....	60
4.4	RELAÇÃO DE VOLUMES: VOLUME COMERCIAL, VOLUME SÓ- LIDO APROVEITÁVEL E VOLUME EM ESTÉREOS .....	62
5	<u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> .....	65
	<u>SUMMARY</u> .....	68
	<u>APÊNDICE</u> .....	69
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	104



# LISTA DE FIGURAS

1	ÁREA DE ESTUDO DO BRACATINGAL NA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI .....	32
2	DESENHO DE UMA ÁRVORE DERRUBADA PARA A COLETA DE DADOS .....	40
3	EMPILHAMENTO DE MADEIRA .....	42
4	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DAS ÁRVORES POR DIÂMETRO E AL- TURA .....	70
5	GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (2) DE MEYER EM PLA- NO (D, V) .....	71
6	GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (6) DE SPURR (VARIÁ- VEL COMBINADA) EM PLANO (D, V) .....	72
7	GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (10) DE SCHUMACHER & HALL EM PLANO (D, V) .....	73
8	GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (11) DE SPURR (VA- RIÁVEL COMBINADA LOGARITMIZADA) .....	74
9	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA A EQUA- ÇÃO VOLUMÉTRICA (2) DE MEYER .....	75
10	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (6) DE SPURR .....	76
11	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (10) DE SCHUMACHER & HALL .....	77

12	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (11) DE SPURR (VARIÁVEL COMBINADA LOGARITMIZADA) .....	78
13	GRÁFICO DA TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (1), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V) ..	79
14	GRÁFICO DA TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (2), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V) ..	80
15	GRÁFICO DE TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (3), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V) .....	81
16	GRÁFICO DA TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (4), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V) ....	82
17	GRÁFICO DA TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (5), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V) ..	83
18	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIO- NADO (1), SEGUNDO O MÉTODO STEPWISE REGRESSION ...	84
19	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIO- NADO (2), SEGUNDO O MÉTODO STEPWISE REGRESSION ...	85
20	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIO- NADO (3), SEGUNDO O MÉTODO STEPWISE REGRESSION ...	86
21	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIO- NADO (4), SEGUNDO O MÉTODO STEPWISE REGRESSION ...	87
22	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIO- NADO (5), SEGUNDO O MÉTODO STEPWISE REGRESSION ...	88

23	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO (6) DE SCHUMACHER & HALL .....	89
24	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO (7) DE SPURR.	90
25	GRÁFICO DE DOIS MODELOS PRÉ-SELECIONADOS E AJUSTA- DOS PARA A FUNÇÃO $V_{cc} = g(V_{st})$ .....	91
26	GRÁFICO DE DOIS MODELOS PRÉ-SELECIONADOS E AJUSTA- DOS PARA A FUNÇÃO $V_{sol} = f(V_{st})$ .....	92
27	GRÁFICO DA RELAÇÃO: VOLUME COMERCIAL COM CASCA ( $V_{cc}$ ), VOLUME SÓLIDO APROVEITÁVEL ( $V_{sol}$ ) e VOLUME EM ESTÉREOS ( $V_{st}$ ) .....	95

## LISTA DE TABELAS

1	DISTRIBUIÇÃO DE NÚMERO DE ÁRVORES POR CLASSE DE DIÂMETRO E ALTURA.....	38
2	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS ESTIMADOS PARA AS TREZE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS PROPOSTAS PARA ESTIMAR VOLUMES COMERCIAIS COM CASCA PARA A BRACATINGA ( <i>Mimosa scabrella</i> Benth.) .....	52
3	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS REESTIMADOS DOS MODELOS PRÉ-SELECIONADOS PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS PARA SEREM COMPARADOS .....	59
4	ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS DIFERENTES MODELOS PROPOSTOS, PARA AS FUNÇÕES: $V_{cc} = g(V_{st})$ e $V_{sol} = f(V_{st})$ .....	63
5	ANÁLISE DE VARIÂNCIA, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO: "POLINOMIAL GERAL" PROPOSTO PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS .....	94
6	ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O PRIMEIRO E ÚLTIMO MODELOS ESCOLHIDOS EM SEQUÊNCIA PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION DO MODELO "POLINOMIAL GERAL" .....	95

7	ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO: "LOGARÍTMICO GERAL", PROPOSTO PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS .....	96
8	ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O PRIMEIRO E ÚLTIMO MODELOS ESCOLHIDOS EM SEQUÊNCIA PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION DO MODELO "LOGARÍTMICO GERAL" .....	97
9	ANÁLISE DE VARIÂNCIA, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO: "EXPONENCIAL LINEARIZADO GERAL", PROPOSTO PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS .....	98
10	ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS NO PRIMEIRO E ÚLTIMO PASSO EM SEQUÊNCIA PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION DO MODELO "EXPONENCIAL LINEARIZADO GERAL" .....	99
11	VARIÁVEIS USADAS PARA A ESCOLHA DO "MELHOR MODELO DE REGRESSÃO", PARA A CONFECCÃO DE TABELAS DE VOLUME INDIVIDUAL EM ESTÉREOS, SEGUNDO O PROCEDIMENTO STEPWISE REGRESSION .....	100
12	ESTATÍSTICAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA AUXILIAR $\log H = b_0 + b_1 \log D$ .....	101
13	ESTATÍSTICAS DOS VOLUMES INDIVIDUAIS: VOLUME COMERCIAL COM CASCA, VOLUME SÓLIDO APROVEITÁVEL, VOLUME EM ESTÉREOS E SUAS RAZÕES CORRESPONDENTES.	101
14	VOLUME COMERCIAL COM CASCA PARA A BRACATINGA ( <i>Mimosa scabrella</i> Benth.), ELABORADA PARA A FLONA AÇUNGUI .....	102

15	VOLUME COM CASCA EM ESTÉREOS PARA A BRACATINGA ( <i>Mimosa scabrella</i> Benth.), ELABORADA PARA A FLONA AÇUNGUI .....	103
----	--	-----

## RESUMO

O presente trabalho de pesquisa relaciona-se com a volumetria dendrométrica, orientada para a bracatinga *Mimosa scabrella* Benth, uma espécie nativa de crescimento rápido de grande potencial energético. As tabelas foram construídas com material obtido em povoamentos naturais da Floresta Nacional de Açungui, localizada no Paraná, Brasil. Elaboraram-se duas tabelas de volume de dupla entrada. A primeira para a estimativa de volume comercial com casca expresso em  $m^3$ . Foram ajustados treze modelos matemáticos para estimativas de volumes individuais, segundo o trabalho de WENDLING. A equação da variável combinada logaritimizado de SPURR, foi o modelo escolhido por ter maior consistência, e que apresenta as melhores estatísticas; assim: coeficiente de correlação múltipla  $(R) = 0,98904$ ; erro padrão residual  $(Syx) = 0,04367$ , coeficiente de variação residual  $Syx\% = 16,01\%$  e melhor distribuição de resíduos. O modelo ajustado resultou:  $\log V = -4,490402624 + 1,044443079 \log D^2H$ . Para a estimativa de volumes expressos em estéreos, partiu-se inicialmente de três modelos gerais nas formas polinomial, logaritmica e exponencial com 10, 12 e 6 variáveis independentes respectivamente. Através do procedimento de eliminação de variáveis STEPWISE REGRESSION, pré-selecionaram-se cinco modelos dos quais três seriam os modelos ideais. Após submetê-los a testes estatísticos analíticos e gráficos resultou como o melhor modelo o logaritimizado que tem a forma:  $\log V = \beta_0 + \beta_1 \log (\log D^2H)$ . A equação apresenta as seguintes estatísticas:  $R = 0,978496$ ,  $Syx = 0,05998$ ,  $Syx\% = 15,53\%$ , mostrando uma melhor distribuição dos resíduos. O modelo ajustado foi:  $\log V = -5,055636649 + 8,114867695 \log (\log D^2H)$ . O coeficiente de empilhamento  $(Fc)$  calculado, empregando três procedimentos de cálculo foi de 0,61, e ele é fator utilizado para a conversão a  $m^3$ , e seu recíproco corresponde a 1,64 utilizado para a conversão em estéreos. Determinaram-se o volume comercial com casca  $(Vcc)$ , o volume sólido aproveitável  $(Vsol)$  e o volume em estéreos  $(Vst)$  para árvores com diâmetros no topo até 6 cm. As relações matemáticas entre estes volumes foram empregados para estimar a perda de material residual lenhoso por árvore no mato. Isto está em torno de 15,76% do volume comercial com casca. Por outro lado determinou-se a seguinte equação para estimar o resíduo por árvore  $(Rs)$ :  $Rs = 0,11436209 Vst$ . Também apresentaram-se as tabelas de volumes corrigidos tanto de volume comercial com casca em  $m^3$  como do volume em estéreo. Os fatores de correção foram: 1,00506843 para a primeira tabela e 1,00958267 para a segunda.

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade a bracatinga *Mimosa scabrella* Benth apresenta-se como uma essência florestal promissora para reflorestamentos vastos, conforme pode-se observar pela distribuição natural nos estados de Santa Catarina e Paraná. A bracatinga depois de crescida forma densas associações, que vistos de cima parecem constituir manchas extensas puras.

Nas áreas, após o cultivo agrícola, suas regenerações formam uma cobertura superior e sob a qual desenvolvem as essências do estrato secundário. Esta espécie tem a vantagem, de ter uma grande vitalidade como espécie nativa, pioneira, versátil e rústica. Este fato dispensa os tratamentos silviculturais como a plantação por mudas, sendo que os repovoamentos se fazem simplesmente por queimas em períodos apropriados, que dão a qualidade de ser uma essência de rápido crescimento, que pode ser utilizada em programas de conservação de solos, e como uma fonte de material energético.

Os programas de repovoamentos, com esta essência florestal, estão orientados especificamente à produção de matéria prima para lenha e fabricação do carvão vegetal.

O carvão de bracatinga consumido pelas indústrias locais, embora a sua qualidade não seja das melhores, torna o seu uso compensador por causa do baixo custo de produção.



LISBÃO<sup>28</sup> comparando potencialidades energéticas das espécies: *Mimosa saabrella* Benth e *Eucalyptus viminalis* Labill, através de dados disponíveis na literatura, conclue que a bracatinga possui produtividade energética similar ao *E.viminalis* em sua área de ocorrência natural. Ela possui madeira de elevada densidade básica, altos teores de lignina e carbono fixo que conduzem ao bom rendimento em produção. A espécie possui apenas a restrição de ter um alto teor de cinzas.

Grande parte da bracatinga é aproveitada também como lenha, em substituição ao óleo diesel, devido ao exorbitante custo deste último. Embora os fogões a gás tenham substituído os de lenha, ainda é muito grande o consumo de lenha em fogões domiciliares, sobretudo nas camadas sociais de baixa renda, além de ser utilizada na indústria de calcário, de cerâmica e porcelana.

Com referência à sua madeira, sabe-se que pode ser utilizada com sucesso na fabricação de móveis de acabamento aceitável, principalmente na forma de painéis.

A composição e crescimento da bracatinga em povoamentos naturais, segundo CARVALHO<sup>9</sup> em estudos feitos de um bracatingal de idade de 7 a 15 anos, ela representa 41,08% dos indivíduos e 71,72% da área basal do bracatingal com densidade de 300 a 1200 indivíduos por hectare. Isto corresponde a uma área basal média por hectare de  $16,4 \text{ m}^2$  e o incremento volumétrico anual de 7,65 a  $18,83 \text{ m}^3/\text{ha/ano}$ .

As variações abrangem os diâmetros de 7 a 35 cm e as alturas de 11 a 29 m. O incremento apresenta declínio a partir do 12º ano; sendo que, os quatro primeiros anos é a fase de maior desenvolvimento, e no decorrer do tempo os mais velhos

mostram mortalidade acentuada, permitindo a formação de bosque composta por espécies mais exigentes.

KLEIN *et alii*<sup>25</sup> em estudos fitofisionômicos feitos em bracatingais observou, que nos primeiros anos, a sub-mata de bracatinga é formada principalmente pelas espécies: tupixaba branca (*Baccharis elaeagnoides*), tupixaba preta (*Symphiopappus* spp) e *Vergonia* spp. e pelas ervas características dos terrenos de cultivos abandonados.

Quando a bracatinga atinge de 4 a 5 anos, a sub-mata apresenta modificações. As tupixabas são substituídas pelas aroeiras (*Schinus terebinthifolius*), capororoca (*Rapanea ferruginea*), vacunizeiro (*Allophylus edulis*), caroba (*Jacaranda puberula*), cafezeiro do mato (*Casearia silvestris*), pau sangue (*Croton oeltidifolius*) e pelos outros arbustos e árvores jovens. Anos mais tarde a sub-mata é invadida em grande número por canela sebo (*Ocotea puberula*), camboata (*Matayba elaeagnoides*), cuvantã (*Cupania vernalis*) e carvalho (*Roupala consinuilis*).

Em estágios mais evoluídos, de modo geral, as espécies mais importantes são sempre a capororoca e a canela sebo. Denota-se também o aparecimento desta última num estágio mais adiantado da sucessão, estando as árvores de bracatinga desenvolvidas plenamente e pronto para serem exploradas para diversos fins.

Quando o bracatingal, em condições naturais, atinge os quinze anos, as bracatingas chegam à sua fase de amadurecimento. A estimativa do volume se torna difícil, já que à partir desta idade existem muitas variações quanto a forma, diâmetro e alturas. Tornando-se necessária a avaliação individual das árvores.

A Floresta Nacional de Açungui criada inicialmente pelo Decreto-Lei nº 176 de 6 de outubro de 1943, pelo governo do Estado do Paraná como Parque Florestal, após segundo Decreto-Lei nº 259 de 28 de fevereiro de 1967 passou a ser considerada como Floresta Nacional.

Neste local encontra-se um bracatingal numa idade compreendida entre os 14 a 16 anos, apresentando uma acentuada variação em diâmetros: 8 a 33 cm e em alturas de 9 a 20 m. Analisando este aspecto, observa-se que existe a necessidade de se contar com instrumentos que possam ser utilizados na avaliação de volume individuais. Por outro lado, esta espécie por ser usada como lenha, a sua comercialização é feita através de metros estéreos. Isto demonstra a necessidade de ter tabelas que facilitem as estimativas do volume individual em estéreos.

Outro fato importante é que o volume comercial individual não é precisamente igual à lenha empilhada, já que sempre existe material lenhoso que não chega a ser aproveitado. Por exemplo; as lenhas que não atingem o comprimento de um metro, galhos que geralmente são bifurcados e defeituosos dificultam o empilhamento.

Considerando estes aspectos, pretende-se neste trabalho de pesquisa, atender os seguintes objetivos:

- a) relacionar os parâmetros dendrométricos: diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total com o volume, experimentando treze equações volumétricas, com a finalidade de ter um modelo que sirva para a confecção de tabela de volume comercial com casca, para a bracatinga *Mimosa scabrella* Benth.

- b) obter um "modelo ideal" para a construção de tabelas de volume expresso em estéreo a partir de três formas de "modelos gerais", que contêm as variáveis independentes DAP e altura total nas suas formas combinadas, usando-se o método de eliminação de variáveis STEPWISE REGRESSION;
- c) determinar o fator de empilhamento,  $F_c$ , para a espécie de referência, mediante procedimentos de cálculo diferentes;
- d) estabelecer relações entre volume comercial com casca ( $V_{cc}$ ) e ainda volume sólido aproveitável ( $V_{sol}$ ), com volume em estéreo ( $V_{st}$ ) para assim ter uma noção do resíduo do volume por árvore;
- e) apresentar uma tabela de volume comercial com casca em  $m^3$  e uma tabela de volume expressa em estéreo, utilizando-se as equações ajustadas e corrigidas por fatores específicos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TABELAS DE VOLUME

As tabelas de volume tem sido utilizadas por mais de 150 anos como afirma SPURR<sup>46</sup>, cabendo o mérito da elaboração da primeira tabela de volume a HEINRICH COTTA em 1817.

MACKAY<sup>30</sup> afirma que para indivíduos de uma espécie vegetal em condições de solo e clima mais ou menos iguais, sujeitos aos mesmos tratamentos e que tenham mesmas classes DAP e altura, pode-se admitir que estas árvores tem o mesmo volume, podendo-se, conseqüentemente, utilizar tabelas de volume na estimativa do volume em pé.

Para CHAPMAN & MEYER<sup>10</sup>, árvores que possuem o mesmo diâmetro e altura não possuem necessariamente os mesmos valores, devido à existência de alguns fatores que conduzem à variação de volume, por exemplo a forma.

Tabelas de volume, segundo ANUCHIN<sup>3</sup>, são listagens de relações numéricas, compilados de acordo com um determinado sistema, nas quais são caracterizados os volumes médios para as árvores de diferentes espécies, altura, diâmetro e forma.

#### 2.1.1 Cálculo de volumes

A cubagem das árvores, em forma geral, pode ser feita através de fórmulas matemáticas baseadas nos sólidos geométri-

cos de revolução, conhecidos também como fórmula padrão de cubagem. Estas são:

<u>Sólido</u>	<u>Fórmula</u>
cilindro	$v = g_o . h$
paraboloide	$v = 1/2 g_o . h$
cone	$v = 1/3 g_o . h$
neiloide	$v = 1/4 g_o . h$
tronco de cone	$v = h/3 (g_o + \sqrt{g_o . g_u} + g_u)$
tronco de neiloide	$v = h/4 (g_o + \sqrt[3]{g_o^2 . g_u} + \sqrt[3]{g_o . g_u^2} + g_u)$

onde:

$v$  = volume

$g_o = \frac{\pi}{4} d_o^2$  = área transversal da base

$g_u = \frac{\pi}{4} d_u^2$  = área transversal do topo

$h$  = altura

Segundo AVERY<sup>1</sup>, as fórmulas mais utilizadas para a determinação dos volumes individuais de uma árvore são as fórmulas de HUBER, SMALIAN e NEWTON, a saber:

- Fórmula de SMALIAN

$$v = \frac{g_o + g_u}{2} . L$$

- Fórmula de HUBER

$$v = g_{1/2} . L$$

- Fórmula de NEWTON

$$v = 1/6 (g_o + 4 g_{1/2} + g_u) . L$$

onde:

$v$  = volume

$g_o, g_u$  = áreas transversais nos extremos inferiores e superiores respectivamente

$g_{1/2}$  = área transversal na metade do tronco

L = comprimento do tronco.

Na prática estas três são mais usadas para cubagem de árvores, especialmente as de HUBER e SMALIAN.

Para cubagem rigorosa de uma árvore, segundo GOMES<sup>19</sup>, é necessário a medição de diâmetros em forma sucessiva ao longo do fuste da árvore, e os comprimentos correspondentes. Os volumes são obtidos para cada secção por fórmulas conhecidas, e o volume do tronco encontra-se pela somatória dos volumes das secções, e assim tem-se volumes calculados com grande exatidão.

HUSCH *et alii*<sup>13</sup> diz que o volume de uma árvore está constituída basicamente por quatro partes: raiz, toco, tronco e copa; porém o que interessa em uma árvore é o tronco e depois a copa, especialmente se a árvore for uma folhosa.

Além do método descrito com referência à obtenção de volume de árvores, existem outros métodos que na atualidade estão em desuso, como o método gráfico e o método de deslocamento líquido.

O método gráfico foi desenvolvido por REINECKE onde o volume da árvore é calculado pelo traçado de seu perfil. A vantagem que apresenta é sua flexibilidade, pois pode ser usado com sucesso em árvores de qualquer forma. A sua limitação está no vagaroso traçado de seu perfil, e do cálculo da área que encerra, o qual pode ser feita com planímetro. Tudo isto se traduz em perda de tempo, e a necessidade de traçar um novo gráfico para cada árvore.

Um método preciso para obter o volume é aquele que segue o postulado de ARQUIMIDES, ou seja o deslocamento do lí-

guido (xilometro), mas apresenta a dificuldade no manuseio de grandes toras.

### 2.1.2 Empilhamento de madeira

Na maioria das vezes a comercialização da madeira cortada, é feita nas empresas através do estéreo, o que aliás acontece com a bracatinga.

Quando se fala de empilhamento de madeira, o seu significado é o de como ordenar as lenhas no espaço. Pode-se considerar duas formas de empilhamento de cilindros, de comprimentos e diâmetros uniformes. Uma delas é a forma de face quadrada, onde a relação volume sólido e volume do estéreo é 0,78, e a outra seria a forma da fase octogonal cujo quociente é 0,91.

Porém, nenhum destes métodos estritamente uniformes de empilhamento são factíveis na prática, já que as lenhas sofrem variações devido a diferentes formas de diâmetro, rugosidades na casca, tortuosidades e conicidade dos toretes.

Para HAMILTON<sup>21</sup>, a forma de empilhamento de uso frequente e prático, é a forma combinada entre a forma quadrada e octogonal, onde o volume sólido está sobre os 80% do volume da pilha. Neste caso, os fatores de conversão são maiores que 0,80 e isto acontece com madeiras relativamente curtas, retas e de excelente qualidade; sendo o fator mais usado para lenhas de boa configuração aquele compreendido entre 0,70 e 0,75.

O metro cúbico estéreo ou estéreo simplesmente, constitui a unidade de madeira empilhada de uso frequente, com dimensões correspondentes a 1 x 1 x 1 m. Define-se como volume ocupado por madeiras de 1 m de comprimento empilhados sobre 1 m de largura e 1 m de altura.



RESENDE<sup>37</sup> diz que, apesar de que na atualidade o estêreo estar sendo qualificado como unidade antiquada, esta unidade é de uso corrente técnico, especificamente quando se fala em termos de produção, comercialização, transformação e rendimento de lenha.

O estêreo é usado onde a prática de pesagem é onerosa ou até mesmo impossível, e isto acontece em lugares distantes e de difícil acesso.

É fácil de perceber, que trata-se de uma unidade de medição de volume pouco confiável, pois pode variar dependendo pelo menos do modo de empilhamento, tortuosidade das madeiras, espessura, forma e comprimento.

Uma forma de expressar a biomassa energética também pode ser feita pelo peso, contudo a sua praticidade depende de vários fatores que influenciam o peso, destacando-se: o conteúdo de umidade, a densidade da madeira e as espécies.

RESENDE<sup>37</sup>, em experiências feitas em *Eucalyptus*, onde a madeira foi cortada e empilhada ainda verde, isto é, com umidade média da ordem de 45%, pesou por estêreo ao redor de 680 Kg com casca. Depois foi exposto ao ar livre, por um período de aproximadamente 90 dias, sua umidade média para períodos não chuvosos, abaixa aproximadamente a 25%, e o peso do mesmo estêreo cai para 500 Kg, e o estêreo da madeira seca, isto é com 0% de umidade passará para 370 Kg. Por estas razões deve-se usar unidades com muito cuidado.

Para transformar o estêreo em m<sup>3</sup> sólido precisa-se obter um fator de conversão, fator este denominado como fator de cubagem e geralmente está em torno de 0,70 para coníferas.

Segundo ROJAS<sup>38</sup>, este fator de conversão chama-se coeficiente de empilhamento, sendo esta relação sempre menor que um, variando-se na prática de 0,45 a 0,77.

2.1.2.1 Fator de empilhamento - O fator de cubagem, Fc, ou fator de empilhamento define-se como a relação do volume sólido real calculado por cubagem rigorosa e o volume empilhado em estêreo:

$$Fc = \frac{V_{sol}}{V_{st}}$$

onde:

Fc = fator de cubagem ou fator de empilhamento

Vsol = volume sólido

Vst = volume do estêreo

Para PRODAN<sup>36</sup> o fator de empilhamento depende dos seguintes fatores:

- da forma e disposição das lenhas empilhadas; quanto mais regulares sejam as lenhas, tanto maior será o fator de empilhamento;
- da variação e do tamanho das áreas transversais da madeira empilhada, contido no estêreo, comparado com o empilhamento com lenhas de igual diâmetro;
- do comprimento da madeira empilhada. Lenhas de menor tamanho se empilham melhor que aquelas de comprimento maior. Portanto o fator de empilhamento será maior.

Na Alemanha, o fator de empilhamento tem um valor entre 0,77 e 0,78 para madeira empilhada de coníferas com casca.

ANUCHIN<sup>3</sup> cita densidades de empilhamento ou fatores de conversão de pilhas de madeira para volume sólido, nas tabelas padronizadas GOST 3243-46. Elas são confeccionadas e aplicadas

para lenhas de secção redonda, espécies de folhas caduca e de um metro de comprimento.

- Diâmetros delgados entre 3 e 10 cm de grossura .. 0,63
- Diâmetros médios entre 11 e 15 cm de grossura ... 0,70
- Diâmetros grossos maiores que 15 cm de grossura.. 0.72

O mesmo autor admite, que o uso destas tabelas padrão de fatores de conversão na prática, podem dar resultados não satisfatórios e para estes casos devem efetuar amostragens específicas.

BRUCE & SCHUMACHER<sup>7</sup> determinaram a densidade de empilhamento através da seguinte relação:

$$K = 0,84 - 0,04 N$$

onde:

$N$  = número médio de lenhas contidos num pé quadrado ( $0,0929 \text{ m}^2$ ).

Esta fórmula pode ser adaptada no sistema métrico decimal como segue:

$$K = 0,84 - 0,01 N'$$

onde:

$N'$  = número médio de lenhas sobre uma área de 61 por 61 cm ( $0,3721 \text{ m}^2$ )

Porém, isto é somente aplicado a madeiras empilhadas que tenham formas uniformes e regulares, como aquelas destinadas à indústria de polpa e papel. Já que elas são produzidas a partir de porções terminais dos troncos, raras vezes bifurcadas.

2.1.2.2 Determinação do fator de empilhamento - Este fator pode ser determinado experimentalmente. Abate-se, secciona-se e

empilha-se certo número de árvores de um povoamento, sendo este fator função das dimensões e formas das madeiras.

Para o cálculo do coeficiente de empilhamento, cortam-se as lenhas em dimensões iguais, para depois serem cubadas rigorosamente, usando-se para este propósito as fórmulas de HUBER ou SMALIAN, de onde resulta:

$$Fc = \frac{\sum Vi}{Ve} = \frac{\text{Volume sólido das lenhas}}{\text{Volume empilhado em estêreo}}$$

CAILLIEZ<sup>8</sup> diz que o volume sólido no estêreo, pode ser encontrado aplicando a fórmula de NEWTON, para o qual deve-se tomar três medidas de diâmetro das lenhas: duas nos extremos e uma na metade. Uma forma simplificada seria medir todos os diâmetros das duas faces da pilha, para logo ser calculado através da seguinte fórmula:

$$V = \frac{\pi}{8} \cdot L \cdot \left[ (\sum di^2)_1 + (\sum di^2)_2 \right]$$

onde:

V = volume sólido da madeira empilhada (m<sup>3</sup>)

L = comprimento das lenhas para o estêreo (L = 1 m)

( $\sum di^2$ )<sub>1</sub>, ( $\sum di^2$ )<sub>2</sub> = somatória dos diâmetros quadrados das faces 1 e 2 da pilha (m<sup>2</sup>).

Calculado o volume sólido mediante esta fórmula, divide-se pelo estêreo da pilha para obter o coeficiente de empilhamento, Fc.

SILVA & PAULA NETO<sup>43</sup> dizem que o fator, Fc, pode ser encontrado através do método de BITTERLICH, feita com auxílio de gabarito de PNA (prova de Numeração Angular), construído de plástico transparente, cartolina ou outros materiais.

O princípio de construção desse gabarito é semelhante ao da teoria relascópica onde o fator área basal para super-

fície circular é dado por:

$$K = 2 \cdot \sin \alpha/2 = D/100 R$$

Com o gabarito construído se dá um giro de  $360^\circ$  sobre a pilha, contando-se as árvores enquadradas no gabarito e multiplicando-se por K, tem-se o fator de cubagem ou fator de empilhamento.

Segundo MAKKONEN, citado por PRODAN<sup>36</sup>, resulta que o método de BITTERLICH com maior número de amostras e estéreos maiores, dão resultados bons; mas com estéreos menores resultam em erros maiores.

Em outro método, segundo HUSCH<sup>23</sup>, o fator Fc pode ser estimado através de fotografias de madeira empilhada. Uma câmara fotográfica mantida a uma determinada distância da pilha, em torno de dez pés (3.048 m), com o eixo ótico da lente voltado frontalmente a um lado da pilha. Depois de ter a fotografia, coloca-se sobre um templet, semelhante aos usados em aerofotogrametria, constituído em número aproximado de 16 espaços pontilhados por polg<sup>2</sup> (6,45 cm<sup>2</sup>), na escala 1:30. Então conta-se o número de pontos ou perfurações sobre os espaços e sobre as toras, logo calcula-se o fator de empilhamento através da fórmula:

$$Fc = 1 - \frac{n}{N}$$

onde:

n = número de pontos sobre os espaços

N = número total de pontos no templet.

\* MAKKONEN, O. Measuring with pile density gauges model Bitterlich and model Snellman. Paper ja Punn, 6., Helsinki, 1959.

HAMILTON<sup>21</sup> afirma que o método fotográfico pode estar influenciado por:

- diâmetro médio das lenhas;
- grau de aumento da fotografia;
- distância focal da lente da câmara;
- escala do reticulado (templet).

Talvez o fator mais influente seja a distância da câmara à pilha, por efeito de distorção e paralaxe, porém poder-se-ia solucioná-las usando-se simplesmente uma câmara com lentes de distância focal apropriadas, e avaliar o fator de conversão por amostragem, da porção central da fotografia.

O método da fotografia tem a vantagem de que pode-se registrá-la continuamente. Uma câmara deste tipo é a POLAROID que pode ser usada para avaliações imediatas do fator de cubagem.

DIETZ<sup>11</sup> cita outro método para determinar o fator de empilhamento, baseado em princípios hidrostáticos relacionados com o empuxo da água, quando são submergidos corpos no recipiente que contem o líquido. Este método é mais experimental e foi aplicado com sucesso na França e Escandinavia para fins industriais.

## 2.2 CONSTRUÇÃO DE TABELAS

É certo que existem diferentes métodos para estimar volumes de árvores através de métodos gráficos e analíticos. Os métodos gráficos na atualidade estão em desuso. Os métodos analíticos são mais difundidos e conhecidos por sua eficiência e simplicidade, baseada nas técnicas de análise de regressão.

FREESE<sup>14</sup> diz que não importa o ajuste de uma equação seja boa particularmente a um conjunto de dados. Ela é somente uma aproximação matemática da relação de uma variável dependente e um conjunto de variáveis independentes. Não devem ser interpretadas necessariamente como se tratasse de uma Lei biológica ou física, tão pouco prova da existência de uma relação causa-efeito. É somente um modo conveniente de descrever uma relação observada.

SNEDECOR<sup>14</sup> cita GALTON como pesquisador que deu origem a "regressão". Ele baseou-se em estudos feitos sobre a herança expressa acerca da "Lei da regressão universal", onde cada característica num homem é compartilhada por seus parentes, mas em menor grau. Então o termo descrito de "regressão" por GALTON tem substituído em boa parte o termo técnico de "função" das Matemáticas.

EZEKIEL & FOX definem a regressão como um método estatístico que pode ser estudado como uma relação funcional entre uma variável dependente, variável de resposta; e com uma ou mais variáveis independentes, onde os métodos experimentais não são satisfatórios<sup>13</sup>.

FREESE<sup>15</sup> cita que as aplicações mais comuns no método de regressão tem os seguintes objetivos:

- a) encontrar uma função matemática que para ser utilizada, tem que descrever a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes;
- b) testar algumas hipóteses sobre a relação entre a variável dependente e entre uma ou mais variáveis independentes. Os testes de "F" ou "t" relacionados com

os coeficientes de regressão, são os que podem ser utilizados.

Segundo KOZAK<sup>26</sup>, qualquer pesquisa florestal faz menção da análise de regressão ou está relacionada a ela de algum modo. Estas técnicas são muito usadas porque são aplicadas para solução de muitos problemas.

Os cálculos são relativamente fáceis com o concurso dos computadores eletrônicos. A teoria matemática envolvida requer ao menos conhecimentos básicos, e a interpretação dos resultados é direta na maioria dos casos.

A técnica de regressão baseia-se no método dos mínimos quadrados, onde a variável dependente, volume, é estimado a partir de outras variáveis independentes, formado através de parâmetros que caracterizam a configuração da árvore: diâmetro, altura; combinadas entre si de diferentes maneiras.

O volume expresso em função do  $d$ ,  $h$ , ...  $d^2h$  ... etc.

$$V = f(d, h, \dots, d^2h, \dots, \text{etc})$$

Terão seus desvios mínimos se:

$$\frac{\delta \Sigma [V - f(d, h, \dots, d^2h, \dots)]^2}{\delta d, \delta h, \dots, \delta d^2h, \dots} = 0$$

Obtidos os ajustes através da solução das equações normais, são submetidos a testes estatísticos para a sua seleção, e escolher aquele que servirá para elaboração das tabelas de volume expressos em  $m^3$  ou estéreo.

### 2.2.1 Equações de volume sólido

As equações volumétricas, são modelos matemáticos que tratam de explicar o comportamento da variável dependente, volume, com outros parâmetros, DAP e altura, que distribuídos



nos eixos cartesianos dão a tendência da curva e que pode ser linear, polinomial ou exponencial.

LOETSCH<sup>29</sup> diz que a derivação de equações do volume apresenta três fases distintas:

- a) coleta de um número suficientemente grande de árvores amostras representativas;
- b) medição das estimativas dos parâmetros das árvores que definirão as variáveis dependentes e independentes dos modelos;
- c) testes dos diferentes modelos através de computadores, e seleção do melhor.

Do conjunto dos modelos ajustados, poderá ter maior aceitação aquele que possuir poucas variáveis e que sejam fáceis de mensurar com exatidão. Isto é, deva apresentar alto valor de R, coeficiente de correlação múltipla, indicando alta correlação com a variável dependente, e baixo valor Syx%, erro padrão da estimativa percentual ou coeficiente de variação residual.

WENDLING<sup>48</sup> depois de fazer uma revisão bibliográfica extensa e testar muitos modelos matemáticos consagrados na prática, indica treze equações das inúmeras citadas por LOETSCH<sup>29</sup>, para se estimar volumes individuais de árvores em pé:

- 1.  $V = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h \dots\dots$  MEYER
- 2.  $V = b_0 + d_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h \dots\dots\dots$  MEYER
- 3.  $V = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3dh^2 + b_4h^2 \dots\dots\dots$  NÄSLUND  
(modificada)
- 4.  $V = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h \dots\dots\dots$  STOATE
- 5.  $V = d^2(b_0 + b_1h) \dots\dots\dots$  OGAYA

- 6.  $V = b_0 + b_1 d^2 h$  ..... S.H.SPURR
- 7.  $V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$  ..... HOHENADL-KRENN
- 8.  $V = b_0 + b_1 d^2$  ..... KOPEZKI-GEHRHARDT
- 9.  $\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log^2 d + b_3 \log h + b_4 \log^2 h$  .....  
..... PRÖDAN (B.W.)
- 10.  $\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$  ..... SCHUMACHER-HALL
- 11.  $\log V = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$  ..... S.H. SPURR
- 12.  $\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2/d$  ..... BRENAC
- 13.  $\log V = b_0 + b_1 \log d$  ..... B.HUSCH (1963)

AHRENS<sup>1</sup> testou cinco funções de volume para estimar o volume comercial para lenha de bracatinga:

- 1.  $V = b_1 d^2 + b_2 h + b_3 d h^2 + b_4 h^2$  ..... NÄSLUND 1940
- 2.  $V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h + b_5 h$  .. Comprensivo  
de MAYER 1944
- 3.  $V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$  ..... STOATE 1945
- 4.  $V = b_1 d^2 h$  ..... Modelo do fator da forma constante SPURR  
1952
- 5.  $V = b_0 + b_1 d^2 h$  .... Modelo da variável combinada.

onde:

$V$  = volume comercial com casca, incluindo o tronco principal e porções de raras até um diâmetro de 4 cm.  
 $d$  = diâmetro à altura do peito com casca, medido a 1,30 m do solo  
 $h$  = altura da árvore, do solo até o extremo superior da copa  
 $b_0, b_1 \dots b_j$  = coeficientes de regressão

De todos estes modelos, foi escolhido aquele do fator da forma constante:

$$V = 0,3879 d^2 h$$

### 2.2.2 Equações de volume para estêreos

As tabelas de volume para estimativa de árvore em pé, são instrumentos para fins de planejamento e produção florestal, porém no momento da comercialização precisa-se de outras unidades exequíveis em função do mercado. A bracatinga, espécie florestal considerada como a mais promissora das essências catalogadas dentro da massa bioenergética, é comercializada nas diferentes regiões em unidades de estêreos.

É de interesse particular, especialmente para as pessoas que se dedicam a este tipo de atividade, o conhecimento de uma estimativa de quanto poderia render em termos de estêreos uma árvore de bracatinga. Para isto é preciso contar com tabelas, onde o número de estêreos por árvore possa ser conhecido a partir do DAP e altura total, e desta forma avaliar diretamente um povoamento.

Comumente faz-se estimativa de volume expresso em estêreos por unidade de área, quando se trata de avaliar biomassas energéticas, sendo as variáveis independentes de uso mais freqüentes obtidas através da área basal (G) por unidade de área e ainda DAP, altura total, altura da copa e diâmetro das copas.

PÉLLICO NETTO & MOREIRA<sup>35</sup> propuseram 27 modelos matemáticos para a estimativa de volume em estêreo para galhos e resíduos de copas por unidade de área, para avaliação da biomassa da floresta natural da província de Niassa, República Popu-

lar de Moçambique, África. Baseando-se nas variáveis independentes obtidas por área basal (G), diâmetro das copas (Dc), e altura da copa (Hc).

Do conjunto de equações, o modelo que melhor se ajustou foi:

$$\ln V = a + bG + cG.Dc + dG.Hc + eG.Dc^2 + fG.Hc$$

Com  $R^2$  igual a 0,804 e  $S_{xy}$  não corrigido pelo índice de FURNIVAL igual a 0,1003.

Nas equações volumétricas para tabelas de volume de dupla entrada a variável dependente, volume expresso em  $m^3$ , está relacionada com as variáveis independentes, obtidas por DAP e altura. Da mesma forma, e por analogia, pode-se relacionar o volume em estêreo por árvore com as variáveis dendrométricas DAP e altura, já que é possível inclusive determinar o peso a partir de DAP e altura, pois por procedimentos e técnicas de regressão são confeccionadas tabelas de peso através delas.

ROSOT<sup>39</sup> determinou uma equação para estimativa de peso seco em *Pinus taeda* L, onde a variável independente de maior correlação foi a variável combinada  $d^2h$ .

Em estudos recentes feitos pelo IBDF/FUPEF<sup>24</sup> sobre a bracatinga, testaram-se numerosas equações, num total de vinte e cinco para estimar pesos. A variável independente de maior correlação foi o DAP; e para avaliações de maior exatidão sugere-se a inclusão da altura. Assim mesmo pode-se citar SCHNEIDER<sup>42</sup>, que determinou equações para avaliar peso de casca em acácia negra.

Ainda não se conhece modelos matemáticos que descrevem o comportamento da variável dependente volume em estêreos, com as variáveis independentes obtidos por DAP (d) e altura total

(h) e suas possíveis combinações tais como:  $d^2h$ ,  $\log d$ ... etc. É necessário no entanto, ter uma idéia acerca da construção e seleção de variáveis, que farão parte de um modelo matemático geral, ou seja; formar uma idéia das variáveis que poderiam servir na construção do modelo.

2.2.2.1 Construção e seleção de variáveis - Se é conhecido o modelo padrão de uma determinada regressão, é possível construir ou gerar outras inúmeras variáveis a partir dos originais e para isso pode-se efetuar os produtos correspondentes em todas suas possíveis formas combinadas, que na maioria dos casos superam e melhoram os modelos padrões originais.

OSTLE & MENSING<sup>33</sup> dizem que esta situação, na maioria das vezes, ocasiona melhoria nos procedimentos de ajustes dos modelos de engenharia, envolvendo complexas interrelações entre os parâmetros e variáveis.

Em tal situação, essas interrelações podem ainda ser mais interessantes na construção de um modelo que pode ser usado para a previsão dos valores. Apesar de que o modelo não possa ter uma relação funcional verdadeira, isto pode ser usado para observar o comportamento da variável de resposta e a previsão futura.

Nos modelos matemáticos usado para a construção de tabelas de volume de dupla entrada, LOETSCH<sup>29</sup> cita variáveis independentes, que entram nos modelos, tais como:  $d$ ,  $h$ ,  $d^2$ ,  $h^2$ ,  $d^2h$ ,  $dh^2$ ,  $dh$ , os quais por sua vez também são expressos na sua forma logarítmica.

CAILLIEZ<sup>8</sup>, das variáveis citadas por LOETSCH<sup>29</sup>, menciona as variáveis independentes  $\sqrt{d^2h}$  e  $d^4h^2$  para o ajuste das

equações de volume de dupla entrada, as quais segundo ele, possibilitam bons resultados nos ajustes dos modelos.

De forma geral as variáveis independentes obtidas por DAP e h expressos em todas as suas formas possíveis, isto é, produtos combinados, recíprocos, potências, transformações logarítmicas, são de uso freqüente na construção de tabelas de volume. Analogamente também na construção de tabelas de peso (DIETS<sup>11</sup>, SCHNEIDER<sup>42</sup> e TARAS<sup>47</sup>).

Por estas considerações, as estimativas de volumes individuais expressos em estéreos podem ser determinados, a partir destes dois parâmetros, considerando todas as suas formas combinadas possíveis.

Lançando-se num plano cartesiano a função:

$$V_{st} = f(d, h)$$

onde  $V_{st}$  expressa o volume da árvore em estéreos;  $d$ ,  $h$ , representam respectivamente o diâmetro à altura do peito e altura total. O comportamento destas variáveis descrevem funções de tendência crescente, ou seja, ao incrementar-se as variáveis independentes sofre também um incremento à variável dependente, significando que o volume expresso em estéreo é diretamente proporcional a  $d$  e  $h$ . Em consequência, os produtos combinados entre as variáveis independentes também serão proporcionais. Portanto o volume expresso em estéreo se relacionará em função de todas estas variáveis, o que sugere um modelo gigante:

$$V_{st} = g(d, h, dh, d^2h, \dots)$$

Esta função pode ser encaixada dentro dos modelos seguintes propostos por DRAPER & SMITH<sup>12</sup>:

## 1. Modelo polinomial:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$$

## 2. Modelo multiplicativo ou fatorial:

$$Y = \alpha X_1^\beta X_2^\gamma X_3^\delta \dots X_k^\omega + \epsilon$$

Este modelo pode ser linearizado e para isto precisa-se fazer uma transformação logarítmica.

$$\ln Y = \ln \alpha + \beta \ln X_1 + \gamma \ln X_2 + \delta \ln X_3 + \dots + \omega \ln X_k + \ln \epsilon$$

Cabe notar que aqui se tomam logarítmos naturais, mas pode-se tomar logarítmos comuns ou de BRIGGS.

## 3. Modelo exponencial:

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k} + \epsilon$$

ou 
$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \ln \epsilon$$

Nos modelos citados  $X_k$  são variáveis independentes de primeira ordem. Porém, pode-se observar que, apesar de existir algumas variáveis combinadas entre d e h em sua forma quadrática ou de maior potência, não se considerou de 2º grau ou de outra ordem superior. Simplesmente considera-se variáveis independentes.

Os coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  são termos que fazem parte do modelo a serem ajustados.

Segundo DRAPER & SMITH<sup>12</sup> o primeiro modelo corresponde a um modelo linear e os modelos 2 e 3 pertencem os modelos não lineares e intrinsecamente lineares. Nos três modelos pode-se aplicar, para o ajuste, o método dos mínimos quadrados, o que requer técnicas de regressão.

Além destas formas, existem os modelos não lineares e intrinsecamente não lineares, que, para o ajuste ou cálculo de seus coeficientes, precisam de outras técnicas e que não são usadas na estimativa de volumes.

Para ZAR, a seleção das equações de ajuste, estarão relacionadas diretamente com aquelas que apresentam a média quadrática do resíduo mais baixo, erro de estimativa ou o coeficiente de determinação  $R^2$  mais alto, embora exista dois inconvenientes na seleção do modelo. O primeiro seria o grande número delas igual a  $2^m - 1$ , onde  $m$  representa o número de variáveis independentes. Assim se  $m = 10$ , dever-se-ia encontrar e selecionar entre 1023 equações de regressão, mas com ajuda dos computadores este inconveniente pode ser superado<sup>49</sup>.

O segundo problema é tomar em conta aquelas regressões pré-selecionadas e escolher uma delas utilizando alguns critérios estatísticos.

Quando se ajusta uma regressão múltipla usando todas as variáveis independentes, pode-se perguntar se algumas das variáveis tem pouca ou nenhuma influência no ajuste. Se esta suposição for afirmativa pode-se eliminar aquela que não tem influência no modelo, para o qual se formulará as hipóteses:

$$H_0 : B_j = 0$$

e

$$H_1 : B_j \neq 0$$

Aplicando para cada coeficiente da regressão; se "t" calculado ( $t_c$ ) para tais coeficientes, é menor ao "t" crítico tabelar ( $t$ ), a um determinado nível de probabilidade e graus de liberdade, a variável independente é rejeitada e separada do modelo. Caso contrário se  $H_1 : B_j \neq 0$ , (test) -, a variável



independente é considerada, e tomará parte do modelo final ou ideal.

Segundo DRAPER & SMITH<sup>12</sup>, a seleção da "melhor" equação de regressão pode ser feita através de  $\gamma^2$ , verdadeira variação do erro da população. Infelizmente não existe um critério ou uma posição ideal, dependendo do julgamento do investigador.

Os mesmos autores indicam os seguintes métodos para a seleção do "melhor modelo de regressão"

- usar os critérios:  $R^2$ ,  $S^2_{yx}$ ,  $C_p$  (estatístico de Mallows), em todas as equações possíveis;
- usar os critérios  $R^2$ , " $R^2$ " ajustado,  $C_p$  (estatístico de Mallows), nas melhores equações do suconjunto pré-selecionado;
- processo de eliminação de variáveis BACKWARD e FORWARD;
- STEPWISE REGRESSION;
- RIDGE;
- PRESS;
- LATENT ROOT REGRESSION;
- STAGEWISE REGRESSION.

No presente trabalho será usado o procedimento STEPWISE REGRESSION que consiste num processo de seleção de variáveis independentes. Ele se fundamenta na inclusão de variáveis em turno, até que a equação de regressão seja satisfatória. A ordem de inclusão das variáveis independentes é determinado segundo os coeficientes de correlação parcial dos coeficientes; e entrará primeiramente aquela que apresenta o maior coeficiente de correlação parcial com a variável dependente  $Y$ .

OESTLE & MENSING<sup>33</sup> fazem o resumo do STEPWISE REGRESSION, ou seja a seleção de variáveis e a obtenção do modelo ideal

nas seguintes etapas. Partindo-se de um modelo de variáveis independentes:  $X_1, X_2 \dots X_p$ .

Etapa 1:

Entre todas as variáveis independentes:  $X_1, X_2, \dots X_p$ , a primeira variável a ser incluída no modelo, é aquela que minimiza a soma de quadrados de resíduos e tem um coeficiente que é significativo e diferente de zero. Assim  $X_j$  é a primeira variável independente incluída no modelo, se:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_j X_{ji})^2 = \text{MIN} \sum_{i=1}^m (y_i - b_0 - b_k X_{ki})^2$$

$$k = 1, \dots, p$$

$$H_0 : B_j = 0 \text{ é rejeitada}$$

Etapa 2:

Selecionado  $X_j$  como a primeira variável incluída no modelo, uma segunda variável é selecionada das variáveis remanescentes, tal que a soma dos quadrados do resíduo para a variável selecionada combinada com  $X_j$  seja a mínima e a prova de significância parcial do coeficiente da variável selecionada, indica que o coeficiente é diferente de zero. Assim  $X_j$  é a segunda variável incluída no modelo, se:

$$\sum (y_i - b_0 - B_j X_{ij} - b_j' X_{ji}')^2 = \text{MIN} \sum (y_i - b_0 - b_j X_{ji} - b_k X_{ki})^2$$

$$k = 1, \dots, p$$

$$k \neq j$$

$$H_0 : B_j = 0 \text{ é rejeitada}$$

Etapa 3:

Uma vez que  $X_j$  está incluído no modelo, uma prova parcial de significância dos coeficientes de  $X_j$  é efetuada para

provar que  $X_j$  possa ser incluído, dado que  $X'_j$  está no modelo. Assim se  $H_1 : B_j = 0$  é rejeitada, ambas  $X_j$  e  $X'_j$  são incluídos no modelo. Se  $H_0 : B_j = 0$  não é rejeitado,  $X_j$  é eliminada na etapa 2 seguido com  $X'_j$  como a primeira variável independente. Embora, nesse caso,  $X_j$  não seja considerada nesta etapa, ela pode ser considerada mais tarde no processo.

Este procedimento continua entre as etapas 2 e 3, adicionando e ocasionalmente eliminando variáveis, até chegar a atingir o modelo final.

### 2.2.3 Relação do volume comercial ( $V_{cc}$ ), volume sólido aproveitável ( $V_{sol}$ ) e volume em estêreos ( $V_{st}$ )

Como foi dito anteriormente, o fator de empilhamento, ou de cubagem ( $F_c$ ), expressa a relação do volume sólido das lenhas empilhadas contidas no estêreo. Esta relação lançada em coordenadas retangulares ou cartesianas expressa a inclinação ou tangente da função linear:  $V_{sol} = f(V_{st})^1$ , no modelo:

$$y_1 = b_1 X$$

Onde a tangente  $b_1$  para LANLY<sup>27</sup>, constitui a razão da estimativa, ou seja:  $y_1/X$ , significando portanto, que o coeficiente de empilhamento poderia ser determinado através do ajuste de uma reta que passa pela origem.

Por outro lado, lançando-se os pares ordenados:  $P(V_{st}, V_{cc})$  em eixos cartesianos pode-se observar que existe uma tendência acentuada ascendente, o que induz a sugerir que poderia ajustar-se pelos mínimos guardados, desde a função:  $V_{cc} = g(V_{st})^2$ .

Inicialmente poder-se-ia partir de um modelo polinomial de segundo grau e um da forma exponencial, que pelo procedi-

mento de eliminação de variáveis chegar-se-ia ao melhor modelo de regressão. Os modelos seriam:

$$y_2 = b_1 X + b_2 X^2$$

e

$$y_2 = b_0 X^{b_1}$$

onde:

$y_1, y_2$  = volume expresso em  $m^3$

$X$  = volume espresso em estéreo

$b_0, b_1, b_2$  = coeficientes.

Segundo AYRES<sup>5</sup>, as equações que são expressas em função de uma terceira variável são chamadas equações paramétricas, como a variável  $X$  dos diferentes modelos representa o volume em estéreos,  $V_{st}$ ; este constitui o parâmetro. Por outra parte relacionando as funções 1 e 2, observa-se que existe uma interrelação entre estas três variáveis, critérios que poderiam ser aproveitados para estimar a quantidade de madeira por árvore que fica no mato, já que apesar da bracinga ser uma espécie aproveitável quase que integralmente, existirá sempre um material lenhoso remanescente devido a uma série de fatores que influenciam em seu aproveitamento. Então este resíduo que fica no mato por árvore poderia ser representado assim:

$$R_s = V_{cc} - V_{sol}$$

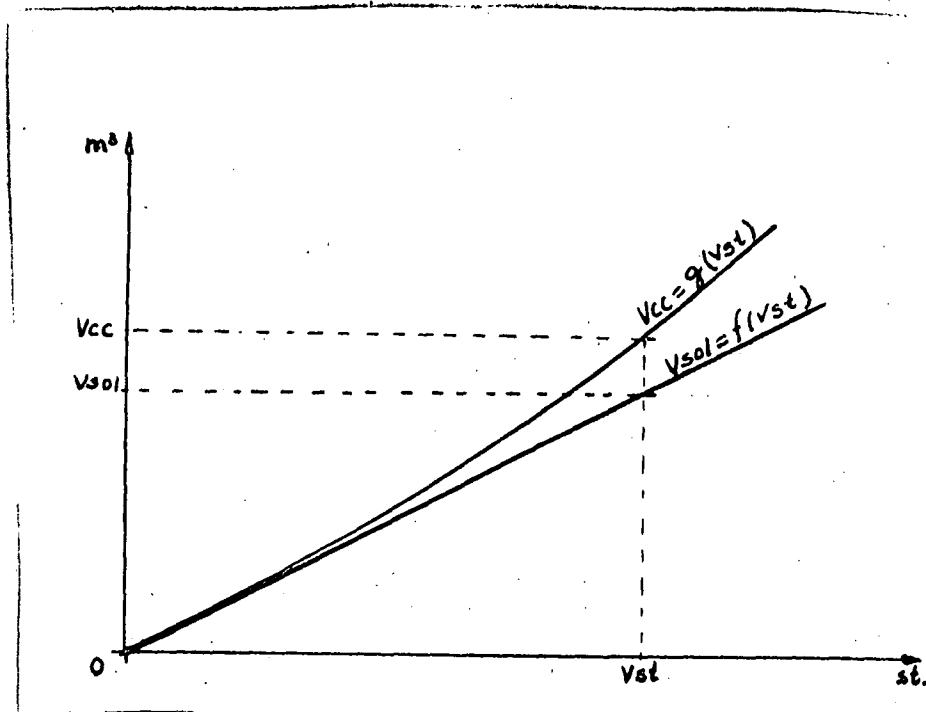
onde:

$R_s$  = resíduo de madeira remanescente por árvore;

$V_{cc}$  = volume comercial com casca;

$V_{sol}$  = volume sólido aproveitável.

Geometricamente poderia se representar assim:



$$Rs = g(vst) - f(Vst)$$

O resíduo de madeira poder-se-ia determinar através da diferença das funções, como se mostra no gráfico anterior.

A estimativa em percentagem da madeira que se perde na exploração por cada árvore, pode ser calculado com a seguinte fórmula:

$$R(\%) = \frac{Vcc - Vsol}{Vcc} \times 100$$

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

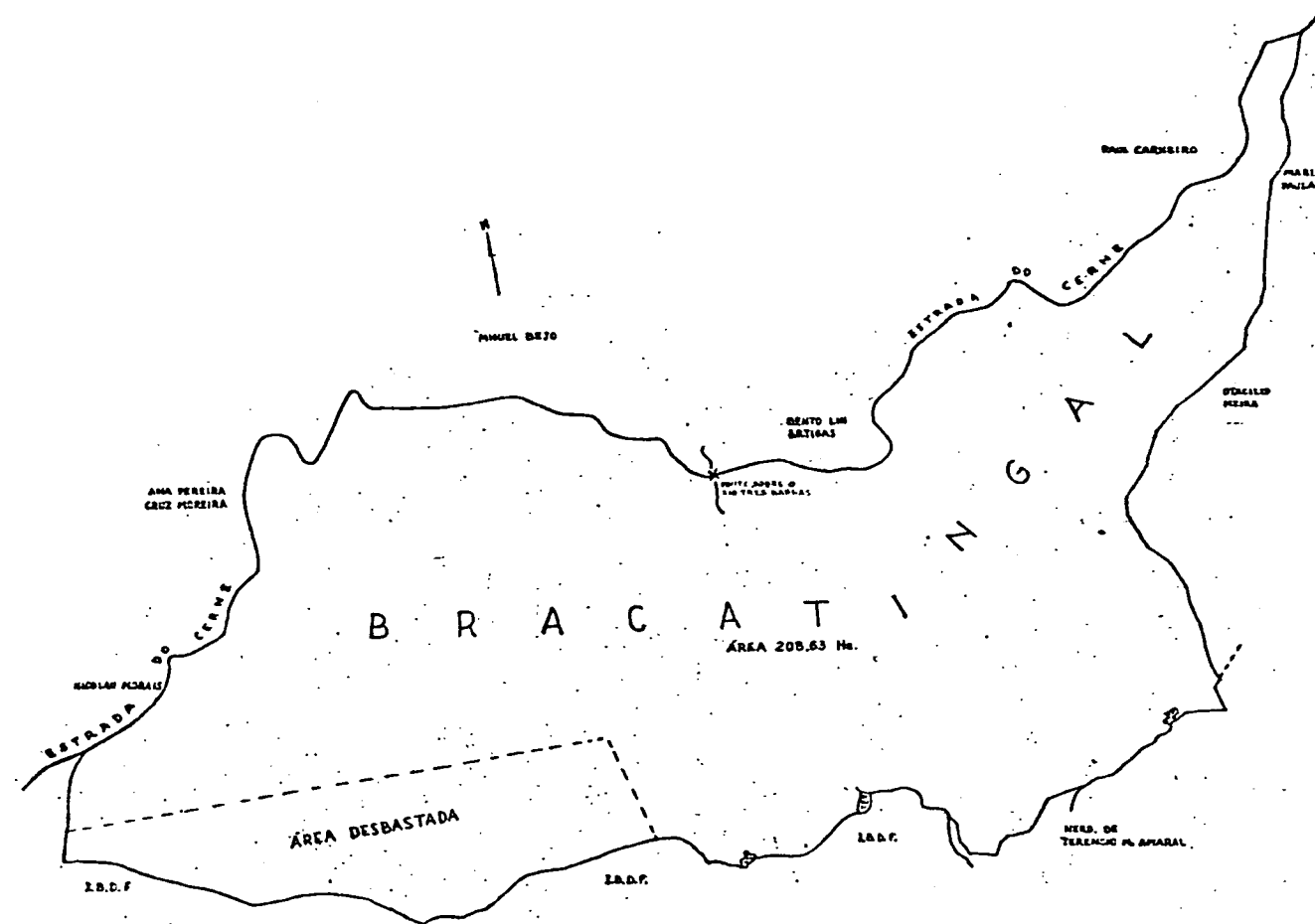
A bracatinga constitui uma das espécies de ampla difusão do Sul do Brasil em forma conjunta com a *Araucaria*. Para GOLFARI<sup>18</sup>, a área de ocorrência desta leguminosa é mais restrita com relação à *Araucaria*. Encontra-se compreendida entre 19°30'S e 31°30'S de latitude e 48°31'W e 54°30'W de longitude.

Entretanto ROTTA & OLIVEIRA<sup>40</sup> depois de consultar sete fontes de informações chegaram a detectar a ocorrência natural da bracatinga nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul distribuídos em 195 municípios. Estende-se desde 23°50' até 29°40' latitude sul e de 48°30' até 53°50' longitude oeste, com predomínio do tipo climático Cfb com variações de 500 a 1500 m.

Para fins de estudo, a espécie florestal em questão, foi localizada na Floresta Nacional de Açungui, situado no município de Campo Largo, distrito de Três Córregos, no estado do Paraná, cobrindo uma área aproximada de 208 ha, cuja idade está entre 14 e 16 anos (FIGURA 1).

Segundo a classificação climática de Köppen, citado por ROTTA & OLIVEIRA<sup>40</sup>, a zona de estudo estaria representada pelo tipo Cfb, baseada na ação conjunta de temperatura e precipitação pluvial.

FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO DO BRACATINGAL NA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI  
(Fonte: IBDF, Curitiba)



C: climas pluviais temperados, mês mais frio entre  $+18^{\circ}\text{C}$  e  $-3^{\circ}\text{C}$ ;

f: sempre úmido, chuva em todos os meses do ano;

b: temperatura do mês mais quente, menor que  $20^{\circ}\text{C}$ , mas no mínimo quatro meses maior que  $10^{\circ}\text{C}$ .

Por sua vez, faz parte da Região Bioclimática 1, do Zoneamento Bioclimático para Reflorestamento de GOLFARI *et alii*\*, com as seguintes características: temperatura média anual de 12 a  $18^{\circ}\text{C}$ , geadas frequentes no inverno, precipitação média anual de 1.250 a 2.500 mm uniformemente distribuídas.

Fazendo uma descrição do perfil horizontal da mata onde se desenvolve esta espécie, pode-se distinguir os seguintes estratos:

Estrato superior: compreende entre 14 e 20 m de altura as espécies ocorrentes neste estrato são as seguintes:

Bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i> Benth
Canelas	<i>Nectandra</i> , <i>Ocotea</i> spp.
Angico	<i>Piptadenia</i> spp.
Cambará	<i>Gochnatia velutina</i>
Guarapere	<i>Lamanonia speciosa</i>
Ipê amarelo	<i>Tabebuia ipe</i>
Guabiroba	<i>Lampomanesia guabiroba</i>
Jacaré	<i>Piptadenia goroacenta</i> Moid

Estrato Mediano: compreende árvores e arbustos entre 3 e 13 m de altura. As espécies que caracterizam este estrato são:

Taquara	<i>Merostachys clausenii</i>
---------	------------------------------

\* GOLFARI, L.; CASER, R.L. & MOURA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação). Série Téc. PRODEPEF, 11, 1978. 66 p.



Capororoca	<i>Rapanea</i> spp
Juvevê	<i>Fagara hiemalis</i> St Hill.
Quaresmeira (aleluia)	<i>Tibouchina</i> spp
Uva do mato	<i>Solanum lancerdæ</i>
Tucum	<i>Boetris lindmaniana</i>
Canjerana	<i>Cabralea geaberrima</i>

Estrato Inferior ou Herbáceo, que compreende as samambaias de modo geral, gramíneas, musgos, rastreiras e trepadeiras.

Uma característica da zona de estudo é que as árvores apresentam epífitas, tais como: orquídeas, musgos, bromeliáceas, especialmente em torno das canelas.

### 3.2 GEOLOGIA E SOLOS

GRODZKI<sup>20</sup>, em relatório apresentado ao IBDF sobre a Floresta Nacional de Açungui, diz que o local onde esta se localiza, estaria fazendo parte da série geológica Açungui, caracterizada pela presença de rochas sedimentares e metamórficas de idade Algonquiana. As rochas intrusivas estão caracterizadas de granitos porfíricos e de eruptivas básicas.

Apresenta um relevo ondulado e bastante acidentado, tendo em vista o dobramento a que estava submetido em sua formação por forças do diatrofismo Huruazuano ou Peniquiano com intrusões de magmas ácidos diferenciados.

As rochas mais sobressalentes são os filitos, apresentando algumas vezes afloramento do calcário cinzento escuro, observa-se também quartzo preenchido nos filitos e granitos porfíricos de composição alcalina que analisados no microscópio mostram: biotita, titanita, apatita, mirmekita e óxido de ferro.

Segundo BIGARELLA et al.<sup>6</sup>, a referida região faz parte das formações geológicas: Votuverava e Água Clara, caracterizado fundamentalmente por filitos calcários, quartzitos, calcários e conglomerados. Por isso a zona apresenta inúmeras jazidas de calcários dolomíticos, talco e caolim.

Os solos predominantes na região segundo o Levantamento de Reconhecimento do Solos do Sudoeste do Estado do Paraná, elaborado pela EMBRAPA em 1974, apresenta os seguintes tipos:

PV1 - POZÓLICO VERMELHO AMARELO com A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo forte ondulado;

PV3 - ASSOCIAÇÃO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO com A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo ondulado e LATOSOL VERMELHO ESCURO DISTROFÍCO com A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo suave ondulado;

PV4 - ASSOCIAÇÃO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO câmbico com A proeminente textura argilosa e PODZÓLICO VERMELHO AMARELO com A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo ondulado.

PV1 - ASSOCIAÇÃO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO ÁLICO com A proeminente textura argilosa com cascalho fase floresta subtropical perenifolia relevo forte ondulado e LATOSOL VERMELHO AMARELO ÁLICO com A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo ondulado.

### 3.3 AMOSTRAGEM

O procedimento empregado para amostragem das árvores a serem cubadas rigorosamente dentro de cada classe diamétrica, foi a inteiramente aleatória. Escolheu-se este procedimento de amostragem para dar às árvores a mesma probabilidade de serem escolhidas.

Por sua vez, KOSAK<sup>26</sup> diz que o ajuste de equações de regressão pressupõe a amostragem ao acaso apenas para a variável dependente e as observações para as variáveis independentes podem e deveriam ser freqüentemente selecionadas sistematicamente, para que o ajustamento seja mais eficiente.

### 3.4 NÚMERO DE AMOSTRAS

O número de árvores amostradas foi de 157, as quais preenchem as condicionantes originais, isto é, intensidade de amostragem com o limite de erro 10% para a variável dependente ao nível de 95% de probabilidade, calculadas para cada classe diamétrica pela seguinte fórmula:

$$n_i = \frac{S_i^2 t^2}{E_i^2}$$

onde:

$n_i$  = estimativa do número de árvores por classe de diâmetro;

$S_i^2$  = variância da variável de interesse (volume) por classe diamétrica calculada;

$t$  = valor de  $t$  tabelar para um nível de probabilidade de 95% com  $n-1$  graus de liberdade;

$E_i$  = Expectativa do erro ( $LE \cdot \bar{X}_i$ )

$LE = 10\%$

$\bar{X}_i$  = média da variável dependente de interesse por classe diamétrica.

O número de árvores por classe de diâmetro e por classe de altura constam na TABELA 1 e sua distribuição gráfica na FIGURA 4.

Cabe enfatizar que houve maior variação no caso do volume expresso em estéreo, devido aos fatos já elucidados no embasamento bibliográfica.

### 3.5 COLETA DE DADOS

Os formulários ou fichas de campo, confeccionados para estes fins contem os seguintes dados:

CAP (circunferência à altura do peito), cujo limite inferior é de 25 cm, para posterior agrupamentos em classes diamétricas, com o intervalo de classe de 3 cm. O diâmetro máximo encontrado na área foi de 33 cm, portanto a amplitude entre os diâmetros extremos é de 25 cm, podendo se agrupar em 9 classes de diâmetro.

HIGUCHI<sup>22</sup> na coleta de dados para folhosas (cedro, pau-marfim, canafístula e canelas), para elaboração de tabelas de volume utilizou intervalos de classes diamétricas de 5 cm, dada sua grande amplitude diamétrica.

AHRENS<sup>1</sup> agrupou as classes diamétricas de bracatinga na coleta de dados em intervalos de classe de 1 cm. Estes dados foram tomados em diferentes lugares e em diferentes idades e formas de plantio.

A ficha de campo também contém outros dados tais como as alturas totais, circunferências das bases e dos topos dos galhos com seus respectivos comprimentos. Os CAP foram medidos antes da derrubada e depois foram medidos os troncos principais a comprimentos regulares de 1 m. Em seguida foram medidas

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE ÁRVORES POR CLASSE DE DIÂ-  
METRO E ALTURA

PROJETO: FLORESTA NACIONAL DE ACUNGUI  
ESPECIE: BRACATINGA

FREQUENCIAS POR CLASSE :

DAP (CM)	A L T U R A (M)											TOTAL
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
7	1	2	2	1								6
8		2	1	1								4
9		2	1		2							5
10	1	2	3	1	1							8
11		2	1	1	1	1	1					7
12			1	3	3	1						8
13				1	1		1					3
14		1	1	2	3	4	2	3				16
15			1	2	1	1	2	1				8
16				2	2	2	2					8
17			1	2	3	1	2	2	1			12
18			2			2	1	2				7
19				1		1	1	1				4
20				2	2	3	1	2				10
21					2	2	3	3	1			11
22							2	2	2			6
23					1	3	3	1				8
24							1	1	2			4
25							1		1			2
26							2	1				3
27								2	2	1		5
28							2	1	1			4
29									2			2
30									2	1		3
31									1		1	2
32									1			1
TOTAL	2	11	14	19	22	21	27	22	16	2	1	157

as circunferências das bases e dos topos dos galhos, complementando-se com os comprimentos correspondentes como se ilustra na FIGURA 2.

Os diâmetros foram obtidos através das circunferências tomando-se como diâmetro mínimo aproveitável 6 cm tanto na cubagem como em empilhamento.

Devido ao fato que a bracatinga apresenta formas irregulares em sua configuração morfológica, foram feitas medições a intervalos de 1 m para obter-se melhores resultados no cálculo de volume.

Considerou-se simplesmente a altura total da árvore, cuja medida foi feita com trena. Esta variável é necessária para a elaboração de tabelas de volume. Não se considera a altura comercial, visto que esta espécie é praticamente aproveitável em forma integral como lenha, onde os galhos também são utilizados.

### 3.6 EMPILAHMENTO DE MADEIRA

Depois da obtenção dos dados das árvores amostras, os troncos e os galhos foram cortados em comprimentos de 1 m.

Para obter-se o número de estêreos por árvore amostra de bracatinga, empilhou-se cada árvore em estêreos de 1 x 1 x 1 m. A fração do estêreo foi estimada por uma régua na ordem do cm, e para o qual usou-se a seguinte metodologia:

Considerando-se que o comprimento das lenhas é constante (1 m) e a base do estêreo (1 m), a única variação no momento do empilhamento será a altura do estêreo. Então a fração do estêreo poderá ser lida na régua como mostra a FIGURA 3-a.

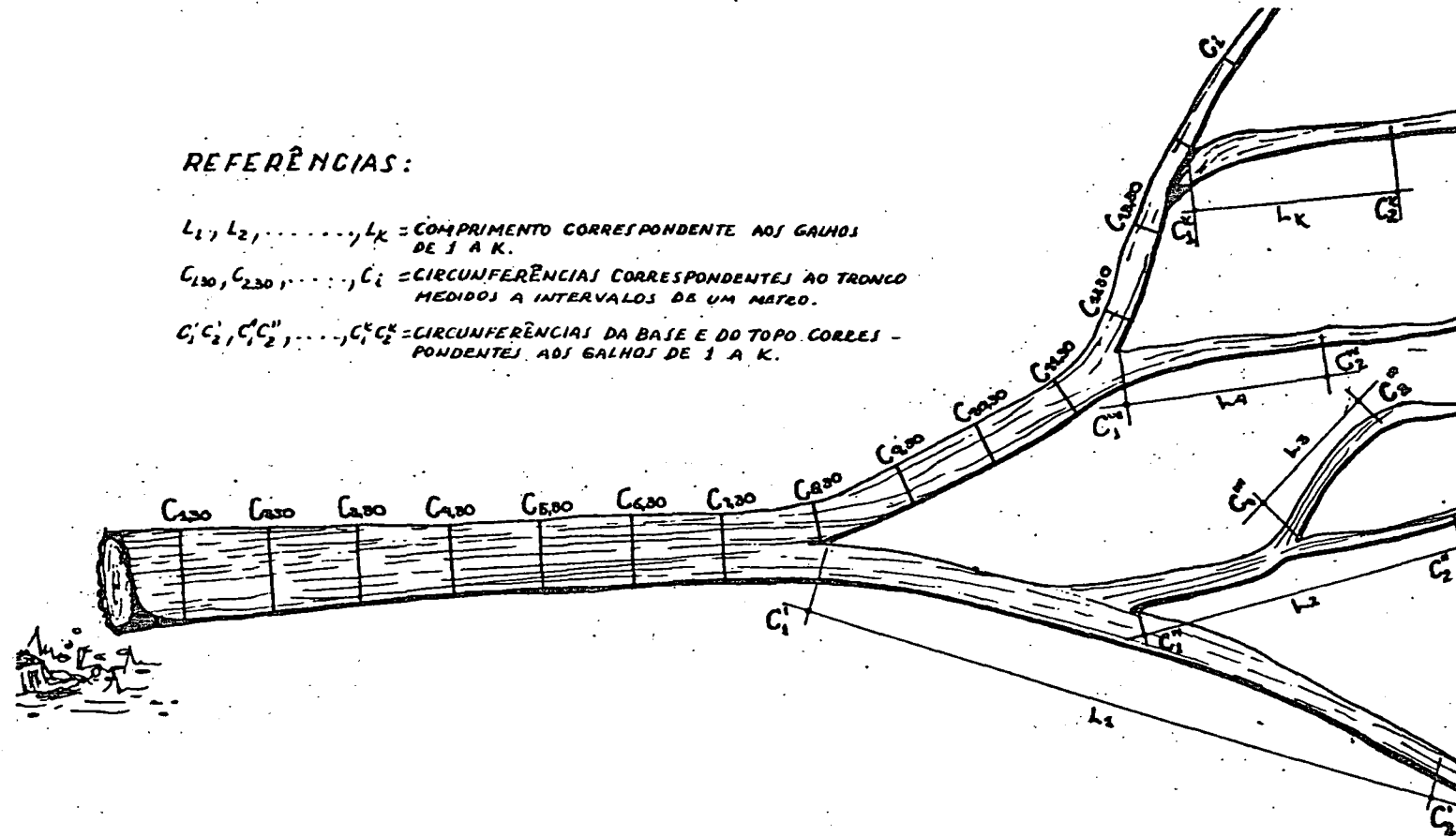
FIGURA 2 - DESENHO DE UMA ÁRVORE DERRUBADA PARA A COLETA DE DADOS

REFERÊNCIAS:

$L_1, L_2, \dots, L_K$  = COMPRIMENTO CORRESPONDENTE AOS GALHOS DE 1 A K.

$C_{130}, C_{230}, \dots, C_i$  = CIRCUNFERÊNCIAS CORRESPONDENTES AO TRONCO MEDIDAS A INTERVALOS DE UM METER.

$C'_1, C'_2, C''_1, C''_2, \dots, C'_K, C''_K$  = CIRCUNFERÊNCIAS DA BASE E DO TOPO CORRESPONDENTES AOS GALHOS DE 1 A K.



No caso das árvores de DAP menores usou-se o seguinte procedimento: divide-se o estêreo em duas partes iguais como mostra a FIGURA 3-b, e simplesmente mede-se a altura da pilha com a régua, e divide-se este valor por dois. Desta maneira se obtém o valor fracionário do estêreo.

Levando em consideração que o empilhamento das lenhas é irregular, calcula-se a média das quatro medições feitas nas quatro arestas verticais a fim de obter-se uma fração representativa do estêreo da árvore.

### 3.7 DETERMINAÇÃO DO VOLUME COMERCIAL (Vcc)

Para a cubagem do volume comercial das árvores de bracinga considerou-se a peculiaridade que apresenta esta espécie florestal, com referência ao volume comercial, que é dado pelo volume do tronco principal mais o volume dos galhos. A determinação dos volumes de cada árvore foi calculado da seguinte maneira:

Para obter-se o volume do tronco principal utilizou-se a fórmula de SMALIAN para cada secção das toras de 1 m de comprimento.

$$V_i = \frac{g_1 + g_2}{2} \cdot L$$

onde:

$V_i$  = volume da secção i

$g_1$  = área transversal da parte inferior da secção i

$g_2$  = área transversal da parte superior da secção i

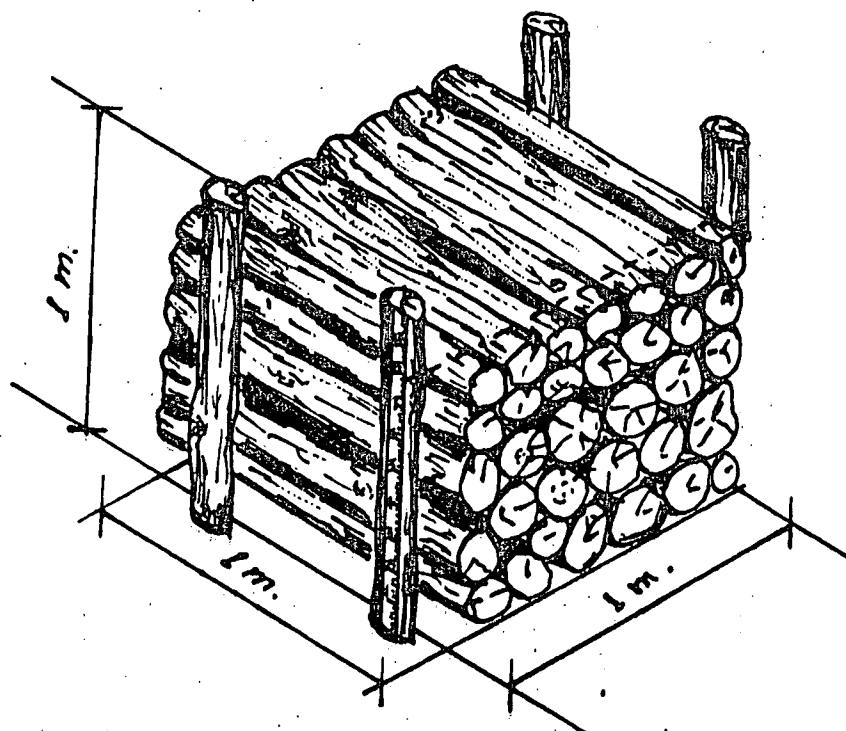
L = comprimento

Como L = 1 para todas as secções, o volume do tronco principal (Vt) pode ser calculado da seguinte maneira:

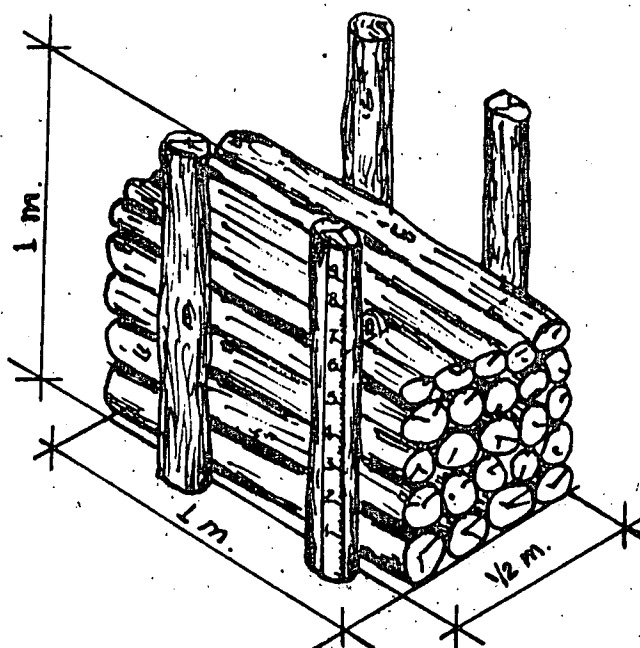


FIGURA 3 - EMPILHAMENTO DE MADEIRA

a) de dimensões 1 x 1 x 1(m)



b) de dimensões 1 x 1 x 1/2(m)



$$Vt = \frac{1}{2}(g_1 + 2g_2 + 2g_3 + \dots + 2g_{n-1} + g_n)$$

$$Vt = \frac{1}{2}(g_1 + g_n) + \sum_{i=2}^{n-1} g_i$$

O volume dos galhos ( $Vg$ ) foi calculada com a mesma fórmula de SMALIAN, onde considerou-se as áreas transversais da base e do topo de cada galho. Então o volume comercial da árvore é obtido por:

$$Vcc = Vt + \sum_{g=1}^n Vg$$

onde:

$Vcc$  = volume comercial da árvore com casca

$Vt$  = volume do tronco

$Vg$  = volume de cada galho, considerando-se como diâmetro mínimo comercial do topo 6 cm.

### 3.8 DETERMINAÇÃO DO VOLUME EM ESTÊREO ( $Vst$ )

Como foi descrito anteriormente, os estêreos foram determinados segundo a média de quatro medidas feitas na pilha:

$$Vst = \frac{1}{4}(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$$

onde:

$Vst$  = volume em estêreos

$L_1, L_2, L_3, L_4$  = medidas na régua em metros.

Para o caso de DAP menores ( $DAP \leq 12$  cm) divide-se o estêreo em 2 para melhorar a apreciação das leituras e considera-se a média dividida por 2.

### 3.9 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE EMPILHAMENTO (Fc)

O fator de empilhamento (Fc) foi determinado através da fórmula:

$$Fc = \frac{\sum Fi}{N}$$

onde:

Fc = fator de empilhamento médio

Fi = fator de empilhamento de cada estêreo formado por árvore

N = número de pilhas em estêreos.

Esta forma de determinar o Fc, deve-se ao fato de que num povoamento natural pode-se observar todas as classes diamétricas, o que dificulta a estratificação utilizando-se a área basal ou a densidade. Então considera-se um fator médio de empilhamento para a região especificada.

Por sua vez, cabe resaltar que o fator de empilhamento de cada estêreo (Fi) foi determinado através da fórmula:

$$Fi = \frac{\sum Vi}{VE}$$

onde:

Fi = fator de empilhamento para cada pilha

Vi = volume sólido da lenha i (m<sup>3</sup>)

VE = volume da pilha (m<sup>3</sup>)

O cálculo do volume sólido foi feito mediante a cubagem rigorosa das lenhas, usando-se a fórmula de SMALIAN.

Utilizou-se, inicialmente 30 pilhas para determinar o Fc, e depois foram completadas as 46 pilhas para atender o grau de precisão a 95% de probabilidade e 10% de erro admissível estabelecido para estes fins (HAMILTON<sup>21</sup>, LANLY<sup>27</sup>).

O fator de empilhamento ( $F_c$ ) determinado pelo método descrito, também pode ser obtido pela razão de suas médias, ou seja:

$$F_c = \frac{\bar{V}_{sol}}{\bar{V}_{st}}$$

onde:

$F_c$  = fator de empilhamento

$\bar{V}_{sol}$  = volume sólido médio

$\bar{V}_{st}$  = volume estéreo médio

Entretanto SNEDECOR<sup>44</sup> diz que pode-se usar as razões das médias das variáveis, considerando-se os seguintes fatos:

- a regressão linear passa pela origem;
- a razão  $S_y/\bar{x}$  é constante, ou seja o coeficiente de variação das variáveis são praticamente quase iguais.

Para aplicar este critério no cálculo de  $F_c$  faz-se um teste preliminar de análise de regressão e dos coeficientes de variação onde observou-se os fatos considerados e que o coeficiente angular praticamente coincide com o fator de empilhamento.

Os erros percentuais cometidos entre os valores dos fatores de empilhamento encontrados pelos diferentes procedimentos de cálculo, podem ser avaliados pela fórmula dos erros relativos ( $\delta$ ), citados por SADOSKI<sup>41</sup>.

$$\delta = \frac{|a - \alpha|}{a} \cdot 100 \approx \frac{|a - \alpha|}{\alpha} \cdot 100$$

onde:

$a$  = assume o valor do Fator de empilhamento médio considerado como verdadeiro

$\alpha$  = assume o valor do fator de empilhamento obtido pela razão das médias.

### 3.10 ESCOLHA DAS EQUAÇÕES

Para a escolha da equação para a construção de tabelas de volume com casca, foram utilizadas as treze equações propostas por WENDLING<sup>48</sup>, cujo processamento de dados foi feito no Centro de Computação "Prof. Altair Pereira Barusso" do Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná.

Os critérios utilizados na escolha das equações foram: coeficiente de correlação múltipla (R), erro padrão residual (Syx), coeficiente de variação residual ou erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%), teste de "F", distribuição de resíduos e gráficos de comparação.

No caso das equações para estimativa do volume em estéreo, para as árvores individuais, usou-se três modelos matemáticos gerais ou "gigantes", onde a variável dependente Y, expressa o volume em estéreo e as variáveis independentes foram o DAP e altura nas formas combinadas de uso mais frequentes.

Estes três modelos matemáticos "gerais" foram encaixados nos propostos por DRAPER & SMITH<sup>12</sup>, citados anteriormente, para depois serem processados pelo método de eliminação de variáveis STEPWISE REGRESSION. Estes foram:

- Modelo matemático "polinomial":

$$Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 H + \beta_3 D^2 + \beta_4 H^2 + \beta_5 DH + \beta_6 D^2 H + \beta_7 DH^2 + \\ + \beta_8 (DH)^2 + \beta_9 (1/DH) + \beta_{10} D^4 H^2$$

- Modelo matemático de "fatores linearizados" ou logarítmico":

$$\log Y = \beta_0 + \beta_1 \log D + \beta_2 \log H + \beta_3 \log D^2 + \beta_4 \log H^2 + \\ + \beta_5 \log DH + \beta_6 \log D^2 H + \beta_7 \log DH^2 + \beta_8 \log^2 D^2 H + \beta_9 \log D \cdot \log H + \\ + \beta_{10} \log^2 D \cdot \log H + \beta_{11} \log D \log^2 H + \beta_{12} \log (\log D^2 H)$$

- Modelo matemático "exponencial linearizado":

$$\log Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 H + \beta_3 D^2 H + \beta_4 DH^2 + \beta_5 (DH)^2 + \beta_6 D^4 H^2$$

Para as análises deste modelos usou-se o programa: EZLS, que além do STEPWISE REGRESSION pode fazer a eliminação de variáveis através do BACKWARD ou STEPDOWN e adição através de FORWARD ou STEPUP.

Foi confeccionado por WAYNE L. MYERS<sup>32</sup> do Departamento Florestal da Universidade de Michigan USA, escrito em Linguagem FORTRAN IV e implementado no DEC-10 do Centro de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Paraná. O processamento dos dados foi feito através do Laboratório de Biometria e Processamento de Dados do Setor de Ciências Agrárias.

O programa inclui o teste F para o qual precisa proporcionar os valores críticos do F a diferentes níveis de probabilidades, um de entrada e outro de saída. Concretamente para a seleção das variáveis de cada modelo utilizou-se quatro níveis, onde os F críticos foram: 99,95%; 99,90%; 95,90 e 95,68% de probabilidade.

O processamento, análise e resultados podem ser resumidos assim:

- a) criação das variáveis dependentes e independentes: foram criadas 30 variáveis para atender as exigências dos modelos matemáticos. A listagem das mesmas estão apresentadas na TABELA 11.
- b) processamento e eliminação de variáveis segundo o método STEPWISE REGRESSION. Cada modelo especificado anteriormente foi processado de acordo com o programa EZLS, e os resultados fornecidos pelo computador foram:

- análise de variância (ANOVA) da regressão múltipla;
- termo constante e erro padrão do mesmo;
- erro padrão da estimativa;
- coeficiente de determinação múltipla;
- coeficiente de correlação múltipla;
- matriz correlação;
- matriz inversa;
- distribuição de resíduos.

Todos estes resultados foram obtidos em cada etapa, através de cálculos internos na seleção de variáveis, que consiste nas análises, comparações e escolha das variáveis que entram no processo, dentro dos "F" críticos considerados;

- c) seleção do "melhor modelo de regressão", obtidos os modelos, escolhidos segundo o processo STEPWISE REGRESSION, foram submetidos a testes estatísticos para a escolha definitiva do "melhor modelo". Os critérios estatísticos empregados foram os mesmos considerados na escolha da equação para confecção das tabelas de volume com casca.

Os valores de F críticos correspondentes a: 99, 95, 90 e 68% de probabilidade com 156 g.l. foram respectivamente: 6,64; 3,84; 2,71 e 0,77; mas nos quatro níveis dos testes não houve variação nos resultados obtidos.

### 3.11 ANÁLISE DE RESÍDUOS

A análise de resíduos constitui um instrumento que pode ser utilizado com senso crítico, especialmente quando se trata de regressões múltiplas, permitindo examinar devidamente

o comportamento de resíduos. Desta maneira pode-se detectar e corrigir alguns erros cometidos na análise de regressão tais como: tendenciosidade, emprego inadequado do modelo, baixa correlação entre as variáveis, falta de ajuste.

ALDER<sup>2</sup> diz que a análise residual pode ser aplicada nos seguintes casos: para:

- a) determinar se o resíduo da regressão faz parte do modelo proposto, por exemplo podem ser não correlacionados, normalmente distribuídos e com variância uniforme;
- b) avaliar a falta de ajuste no modelo pelas tendências sistemáticas nos resíduos;
- c) examinar visualmente os gráficos das relações entre os resíduos e as variáveis futuras possíveis, que ainda não entraram no modelo de regressão.

Na determinação das equações volumétricas, comumente, são traçados gráficos para os resíduos em relação ao DAP e alturas. Contudo somente são necessários os gráficos dos resíduos em relação ao DAP, devido a que ambas variáveis relacionam-se de forma direta com o volume.

É de uso freqüente expressar os resíduos em forma percentual:

$$R\% = \frac{V_o - V_e}{V_o} \cdot 100$$

onde:

$R\%$  = resíduos de volumes expressos em percentagem;

$V_o$  = volume observado;

$V_e$  = volume estimado.



Na escolha do melhor modelo para estimativa de volumes para  $m^3$  e estéreos, usou-se a análise residual pelo método gráfico. Através deste, pode-se visualizar e analisar a distribuição dos resíduos e escolher aquele que apresentar uma distribuição mais homogênea eliminando-se as tendenciosidades.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 ESCOLHA DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO PARA TABELAS DE VOLUME COMERCIAL COM CASCA (Vcc)

O ajuste, dos treze modelos matemáticos propostos para a elaboração de tabelas de volume, foi feito através dos mínimos quadrados.

Calculou-se os coeficientes,  $R^2$  (coeficiente de determinação), Syx (erro padrão da estimativa), Syx% (coeficiente de variação residual) e os valores de F (razão dos quadrados médios da regressão e do erro). Estes valores são mostrados na TABELA 2.

Os Syx e os Syx% dos modelos logarítmicos estão reestimados segundo suas fórmulas de definição, para que possam ser comparados com os modelos não logarítmicos.

Os critérios para escolha do melhor modelo são os mesmos propostos por FREESE<sup>16</sup>. O mérito de uma equação volumétrica aumenta consideravelmente, se ela contiver variáveis que sejam fáceis de serem mensuradas com exatidão e que sejam altamente correlacionadas com o volume. Devem ser considerados: o maior valor R, menor Syx% (erro padrão da estimativa percentual ou coeficiente de variação residual). O maior valor de F indica uma alta significância nas correlações com as variáveis independentes.

Os gráficos dos modelos ajustados e a distribuição de seus resíduos expressos percentualmente, são considerados para a escolha definitiva do modelo.

TABELA 2 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS ESTIMADOS PARA AS TREZE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS PRO-  
POSTAS PARA ESTIMAR VOLUMES COMERCIAIS COM CASCA PARA A BRACATINGA (*Mimosa*  
*scabrella* Benth.)

FIRMA: FLORESTA NACIONAL DE ACUNGUI		ESPECIE: BRACATINGA		COM CASCA	
=====					
EQUAÇÕES TESTADAS					
-----					
1	V=	0.027127006 +	-0.005876016D +	0.000100960D2 +	-0.000185257DH + 0.000059427D2H + 0.002306098H
2	V=	0.055389741 +	-0.008682133D +	0.000163103D2 +	0.000041047DH + 0.000054422D2H
3	V=	-0.009158343 +	-0.000197651D2 +	0.000063433D2H +	-0.000000008DH2 + -0.000000137H2
4	V=	0.052128236 +	-0.000283173D2 +	0.000070050D2H +	-0.004715157H
5	V=	-0.000281817D2 +	0.000067572D2H		
6	V=	-0.020519774 +	0.000052536D2H		
7	V=	0.135431097 +	-0.023066431D +	0.001518820D2	
8	V=	-0.067047126 +	0.000931039D2		
-----					
9	LOGV=	-1.044852600 +	2.031260800LOGD +	0.012338290LOGD2 +	-5.045135000LOGH + 2.719554500LOG2H
10	LOGV=	-4.527507445 +	2.068689110LOGD +	1.098421477LOGH	
11	LOGV=	-4.490402624 +	1.044443079LOG(D2H)		
12	LOGV=	-4.131700173 +	2.688609259LOGD +	1.622890860/D	
13	LOGV=	-3.725852671 +	2.441775736LOGD		
=====					

EQUACAO	SY.X	SY.X X	R2	F
1	0.04210	15.51	0.9675	897.62
2	0.04196	15.46	0.9674	1129.23
3	0.04262	15.70	0.9664	1093.39
4	0.04209	15.50	0.9670	1496.16
5	0.04239	15.62	0.9661	4420.91
6	0.04272	15.74	0.9656	4349.45
7	0.05102	18.80	0.9512	1502.18
8	0.05687	20.95	0.9390	2387.11
9	0.04351	16.03	0.9797	1831.74
10	0.04374	16.11	0.9782	3455.35
11	0.04367	16.09	0.9782	6943.03
12	0.05171	19.05	0.9629	1997.68
13	0.05369	19.78	0.9625	3975.56

#### 4.1.1 Critério do coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ),

Dos treze modelos ajustados, os modelos logartímicos: 9, 10, 11 e os aritméticos 1, 2, 4 deveriam ser os melhores por apresentarem maiores  $R^2$ . Este critério serviu para a pré-seleção dos mesmos.

#### 4.1.2 Erro padrão residual (Syx)

Visto que os erros padrões residuais devem ser os mais baixos, verificou-se que os modelos de 1 a 6 apresentam estas condições, seguidos dos modelos logartímicos 9, 10, 11. O erro padrão percentual que explica a variação relativa do modelo ajustado com referência a média em volume, é função do erro padrão residual e por isso os modelos que apresentarem menores erros residuais também serão considerados para a escolha.

#### 4.1.3 Critério da estatística "F"

Todos os modelos citados superaram os F críticos tabelares, indicando alta significância em todos os casos. Assim quanto mais alto foram os "F" encontrados, melhores serão as distribuições dos resíduos. Os modelos segundo este critério podem ser ordenados na seguinte hierarquia: 11, 6, 5, 10.

#### 4.1.4 Índice de Furnival

Nos casos onde a variável dependente sofre transformações, ALDER<sup>2</sup> sugere para comparações de equações que tenham tido transformações tais como logarítmicas, recíprocas, ponderações ou pesos o uso do Índice de Furnival (FURNIVAL<sup>17</sup>):

$$FI = S.\text{antilog} \{ (\sum \log f'(y)^{-1}/N) \}$$

onde:

$S$  = erro padrão da estimativa;

$f'(y)^{-1}$  = recíproco da derivada da função de transformação aplicável a variável dependente  $Y$ ;

$N$  = número de observações

Quando a transformação aplicada é logarítmica de base decimal pode-se escrever o índice de Furnival da seguinte forma:

$$FI = Syx \cdot \text{antilog} (2.30258 \Sigma \log Y/N)$$

Este índice não tem sido aplicado, visto que as equações ajustadas foram transformadas a sua forma original, para poder-se reestimar os  $Syx$  e  $Syx\%$ , através de suas fórmulas de definição (SPIEGEL<sup>45</sup>):

$$Syx = \sqrt{\frac{\Sigma (V - \hat{V})^2}{N - K - 1}}$$

$$Syx\% = \frac{100 Syx}{\bar{V}}$$

onde:

$V$  = volume observado ( $m^3$ )

$\hat{V}$  = volume estimado ( $m^3$ )

$\bar{V}$  = volume médio

$N$  = número de observações

$K$  = número de variáveis independentes

Levando-se em conta os critérios anteriormente vistos, selecionou-se as equações: 2, 6, 10, 11. Para a escolha definitiva do melhor modelo, estes foram submetidos a um teste gráfico para observar que a tendência da curva descrita pelos modelos ajustados.

Os modelos ajustados para sua representação gráfica necessitam de um sistema de eixos multidimensionais. Porém, pode-se representar num plano, ou seja, num sistema de eixos bidimensionais, em cujas ordenadas representam-se os valores dos volumes, e nas abcissas os valores dos DAP, considerando-se às alturas  $H$  como constantes, assumindo valores arbitrários. Esta forma de representação, é comum na construção gráfica de tabelas de volume (MACKAY<sup>30</sup>).

Uma forma correta de dar valores representativos das alturas de um povoamento, é através do ajuste de uma relação hipsométrica:  $H = f(D)$ ; cuja função trata de explicar o comportamento da variação das alturas nas classes diamétricas. Estimado  $H$ , este será a altura média estimada do povoamento, em vez de um valor determinado arbitrariamente.

Por outro lado, uma vez estimado  $H$ , pode-se também determinar os limites superior e inferior das alturas através do intervalo:  $\hat{H} \pm n \text{ Syx}$ , onde  $n$  pode ser: 1, 2 ou 3 vezes o desvio  $\text{Syx}$ .

Considerando-se estes aspectos, representou-se os modelos escolhidos em planos cartesianos  $V = f(D)$ , sendo que os  $H$  dos modelos assume o valor de  $H$  estimado ( $\hat{H}$ ) e os valores extremos do intervalo  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Para isto, primeiramente, foi necessário estimar o  $\hat{H}$ , ajustando-se a função hipsométrica  $H = g(D)$ , utilizando-se os dados das árvores amostras no modelo:

$$\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log d$$

As estatísticas deste modelo encontram-se na TABELA 12.

Obtidos as alturas estimadas:  $\hat{H}$ ,  $\hat{H} + 3 \text{ Syx}$ ,  $\hat{H} - 3 \text{ Syx}$  foram substituídos no modelos escolhidos para sua representa-

ção gráfica bidimensional correspondente.

As FIGURAS 5 a 8, mostram gráficos dos modelos escolhidos num sistema de eixos bidimensionais  $V = f(D)$  e os  $H$  dos modelos encontra-se substituídos pelos valores das alturas estimadas.

A amplitude de variação das alturas está representada pela faixa compreendida entre os limites superior e inferior do intervalo  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ .

O traçado dos gráficos lembra aquelas que são efetuadas na construção de qualidades e índices de sítio.

Além do teste gráfico para observar a tendência dos modelos, testou-se graficamente a distribuição dos resíduos expressados percentualmente, podendo observar-se os mesmos nas FIGURAS 9 a 12.

Depois de fazer as análises dos critérios e testes gráficos nos diferentes modelos testados, escolheu-se os modelos de SCHUMACHER & HALL e SPURR, por ter apresentado os melhores resultados como pode-se observar na TABELA 2, além dos testes gráficos de suas tendências e a distribuição dos resíduos (FIGURAS 7, 8, 11 e 12).

Analisados os gráficos não apresentam tendenciosidade sendo que a distribuição gráfica de seus resíduos encontram-se uniformemente distribuídos nas diferentes classes diamétricas.

Para a confecção da tabela de volume comercial com casca foi usada o modelo da variável combinada logaritmizada, ou seja o proposto por SPURR devido a sua simplicidade em sua aplicação, já que contém uma só variável independente.

#### 4.2 ESCOLHA DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO PARA TABELAS DE VOLUME EM ESTÉREO

De acordo com o proposto, a escolha do modelo matemático para a confecção de tabelas em estêreos, foi feita através do programa EZLS. O método utilizado para a seleção dos modelos "ideais" foi através do STEPWISE REGRESSION, que consiste na eliminação de variáveis segundo o grau de correlação. Aqueles que não apresentem correlação ou apresentarem baixa correlação com a variável de resposta (volume em estéreo), a valores diferentes de F são eliminados.

O resultado foi a determinação dos modelos pré-selecionados, os quais por sua vez foram submetidos a testes estatísticos como no caso da escolha da melhor equação para as tabelas de volume comercial com casca.

As ANOVAS (Análise de variâncias) para os três modelos "gigantes" e os modelos pré-selecionados constam no apêndice (TABELAS 5 a 10) de acordo com resultado obtido pelo computador.

Pode-se observar que a partir de três modelos gerais ou "gigantes" contendo, 10, 12 e 6 variáveis independentes distribuídos nos modelos polinomiais, fatoriais e exponenciais respectivamente, o computador forneceu os seguintes modelos:

$$1. \quad V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \beta_2 D^4 H^2$$

$$2. \quad \log V = \beta_0 + \beta_1 \log(\log D^2 H) + \beta_2 \log D$$

$$3. \quad \log V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^4 H^2 + \beta_3 D^2 H + \beta_4 D H^2$$



Observa-se, nas ANOVAS (TABELAS 6 e 8), que estes modelos podem ser simplificados pelo fato de, no primeiro passo do teste, apresentarem um valor "F" elevado.

$$4. \quad V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H$$

$$5. \quad \log V = \beta_0 + \beta_1 \log (\log D^2 H)$$

Os modelos escolhidos pelo computador foram testados em quatro níveis de "F" e não houve variação nos resultados obtidos.

Também foram incluídos os modelos de SCHUMACHER & HALL (6) e de SPURR em sua forma logarítmica (7) por sua ampla difusão na construção de tabelas de volume para espécies florestais de folhas caducas.

A TABELA 3, mostra os coeficientes e estatísticas corrigidas, ou seja reestimadas para suas comparações correspondentes aos sete modelos pré-selecionados.

Dos sete modelos matemáticos submetidos a testes analíticos e gráficos (FIGURAS 13 a 24), foi escolhido o modelo 5, apesar dos modelos 1 e 2 terem apresentado melhores estatísticas, mas, nos testes gráficos mostram leve tendenciosidade na distribuição de seus resíduos. O modelo 3 pré-selecionado apresenta tendenciosidade acentuada ao sobre-estimar, como pode-se observar na FIGURA 15 e o modelo 4 mostra falta de ajuste e sob-estima nas classes diamétricas menores. Os modelos 7 e 6 apresentam valores relativamente altos em relação a  $Syx\%$ , e sua distribuição de resíduos são um tanto viciadas.

O modelo escolhido 5 além de apresentar bons resultados tem a vantagem de contar com uma só variável independente comparado com os modelos 1 e 2, que contêm duas variáveis independentes.

TABELA 3 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS REESTIMADAS DOS MODELOS PRÉ-SELECIONADOS PELO STEPWISE REGRESSION PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS PARA SEREM COMPARADOS ENTRE ELES.

Nº	Modelo Matemático	Coeficientes	R	F	Syx	Syx%
1	$V = B_0 + B_1 D^2 H + B_2 (D^2 H)^2$	$B_0 = -0,0166391735$ $B_1 = 0,798953113 \times 10^{-4}$ $B_2 = -0,833936541 \times 10^{-9}$	0,980216	1888,42	0,05809	15,03
2	$\log V = B_0 + B_1 \log(\log D^2 H) + B_2 \log D$	$B_0 = -4,559772663$ $B_1 = 5,534892569$ $B_2 = 0,760689609$	0,979425	1813,63	0,05970	15,45
3	$\log V = B_0 + B_1 D + B_2 (D^2 H)^2 + B_3 D^2 H + B_4 D H^2$	$B_0 = -2,263081947$ $B_1 = 0,115456849$ $B_2 = 0,226738814 \times 10^{-8}$ $B_3 = -0,211273463 \times 10^{-3}$ $B_4 = 0,170667951 \times 10^{-3}$	0,979202	884,29	0,06702	17,35
4	$V = B_0 + B_1 D^2 H$	$B_0 = 0,017188536$ $B_1 = 0,664248450 \times 10^{-4}$	0,978166	3433,71	0,06079	15,74
5	$\log V = B_0 + B_1 \log(\log D^2 H)$	$B_0 = -5,055636649$ $B_1 = 8,114867695$	0,978496	3488,23	0,05998	15,53
6	$\log V = B_0 + B_1 \log D + B_2 \log H$	$B_0 = -3,994937031$ $B_1 = 2,113092063$ $B_2 = 0,734349142$	0,979030	1777,83	0,06272	16,23
7	$\log V = B_0 + B_1 \log D^2 H$	$B_0 = -4,181510603$ $B_1 = 1,005767809$	0,978519	3488,47	0,06257	16,20

Quando os modelos utilizados para a confecção de tabelas de volume apresentaram formas logarítmicas, os antilogarítmos dos valores dos volumes médios serão as médias geométricas dos volumes, a qual é diferente da média aritmética. Portanto, a diferença entre a média geométrica estimada e a média aritmética é um erro devido a discrepância logarítmica. Por isso, é necessário ajustar um fator que transforme a estimativa da média geométrica em uma média aritmética, livre do erro sistemático. MEYER<sup>31</sup> recomenda o seguinte fator de correção para corrigir o erro:

$$F = 10^{1/2(S^2 \ln 10)} = 10^{1.1512925 \times S^2}$$

onde:

$S^2$  = quadrado do erro padrão residual

Portanto, para se elaborar tabelas de volume livres do erro causador pelas transformações logarítmicas é necessário computar este fator de correção e aplicar ao modelo escolhido para a confecção da tabela. PAULA NETO *et alii*<sup>34</sup> aplicaram o fator de correção de MEYER por discrepância logarítmica, a estimativa de volume comercial em *Eucalyptus microcorys* ao modelo de SCHUMACHER & HALL.

#### 4.3 COEFICIENTE DE EMPILHAMENTO (Fc)

O coeficiente de empilhamento, Fc, foi determinado através da média dos coeficientes de empilhamento, encontrados para cada pilha. O seu valor corresponde a: 0,615457 e está de acordo com os valores encontrados por AHRENS<sup>1</sup>, ANUCHIN<sup>3</sup>, CAILLIEZ<sup>8</sup> e PRODAN<sup>36</sup>.

Como este valor representa um fator de empilhamento médio, ele deve estar expresso em termos de limites de confian-

ça, cujo valor a 95% de probabilidade tem a seguinte expressão:

$$IC = Fc \pm t_{0,05} S\bar{x}$$

$$\therefore IC = 0,615457 \pm 0,01356$$

Isto significa que de 100 pilhas escolhidas ao acaso 95 delas terão um fator de empilhamento compreendida entre os valores 0,601897 e 0,629018, o que condiz com HAMILTON<sup>21</sup>, ao dizer que o fator de empilhamento encontrado pode ter um erro admissível de 10% a 95% de probabilidade e que o coeficiente de variação encontrado estará em torno de 7,41%.

Dado ao fato de que os coeficientes de variação dos volumes sólidos e os volumes em estêreos, são praticamente iguais, ou seja, a diferença dos seus coeficientes de variação são mínimos, então o fator de empilhamento Fc pode ser considerado como uma razão das médias dos dois volumes em questão: volume sólido médio e o volume estéreo médio (SNEDECOR<sup>44</sup>) (Ver TABELA 13 no Apêndice).

$$Fc = \frac{\bar{V}_{sol}}{\bar{V}_{st}}$$

$$Fc = \frac{0,289502174}{0,471786957}$$

$$\therefore Fc = 0,613629$$

Observando-se ambos os coeficientes de empilhamento calculados, verifica-se que existe uma mínima diferença entre eles onde o erro em percentagem cometido, pode ser calculado pela fórmula dos erros relativos,  $\delta$  (SADOSKY<sup>41</sup>):

$$\delta = \frac{|a - \alpha|}{a} \cdot 100 \approx \frac{|a - \alpha|}{\alpha} \cdot 100$$

onde:  $a$  = assume o fator de empilhamento médio considerado como valor verdadeiro (0,615457)

$\alpha$  = fator de empilhamento obtido pela razão das médias  
(0613629)

O erro relativo percentual atinge apenas 0,29%, o que significa uma margem admissível de tolerância, já que não atinge nem a 0,5%.

O fator de empilhamento calculado através da razão de médias de volumes: sólido e estéreo está dentro dos limites de confiança, significando, em consequência, que o fator de empilhamento pode ser calculado por qualquer dos procedimentos.

#### 4.4 RELAÇÃO DE VOLUMES: VOLUME COMERCIAL ( $V_{cc}$ ), VOLUME SÓLIDO APROVEITÁVEL ( $V_{sol}$ ) E VOLUME EM ESTÉREOS ( $V_{st}$ )

Para estabelecer a relação de volumes:  $V_{cc}$ ,  $V_{sol}$  e  $V_{st}$ . determinou-se previamente o ajuste das equações:

$$V_{sol} = f(V_{st})$$

e

$$V_{cc} = g(V_{st})$$

Em cada função foram testados quatro modelos matemáticos. As análises de variâncias dos diferentes modelos são apresentados na TABELA 4.

A escolha recaiu nas formas lineares como pode ser apreciado nas FIGURAS 25 e 26, onde são mostrados o comportamento das equações ajustadas.

Estes ajustes foram lançados nos eixos cartesianos, colocando-se nas ordenadas os valores de volume comercial com casca ( $V_{cc}$ ) e o volume sólido das pilhas ( $V_{sol}$ ), expressos em  $m^3$  e nas abcissas os valores em estéreos (FIGURA 27).

A subtração das ordenadas determina o resíduo, ou seja, o material lenhoso que fica no mato de cada árvore e para um

TABELA 4 - ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS DIFERENTES MODELOS PROPOSTOS, PARA AS FUNÇÕES:  $V_{cc} = g(V_{st})$  e  $V_{sol} = f(V_{st})$

Nº	Modelo Matemático	Coeficientes	R	F	Syx	Syx%
1	$V_{cc} = B_1 \cdot V_{st}$	$B_1 = 0,725636445$	0,9712130	2593,12	0,05468	20,15
2	$V_{sol} = B_1 \cdot V_{st}$	$B_1 = 0,611274236$	0,9959545	5527,96	0,01883	6,50
3	$V_{cc} = B_1 \cdot V_{st} + B_2 (V_{st})^2$	$B_1 = 0,595204535$ $B_2 = 0,169710133$	0,9767829	1611,13	0,04934	18,18
4	$V_{sol} = B_1 \cdot V_{st} + B_2 (V_{st})^2$	$B_1 = 0,673954633$ $B_2 = -0,060455504$	0,9672242	310,31	0,05480	18,45
5	$\log V_{cc} = B_1 \log V_{st}$	$B_1 = 1,210349615$	0,9521093	1512,67	0,11363	41,86
6	$\log V_{sol} = B_1 \log V_{st}$	$B_1 = 1,266530528$	0,9262279	271,67	0,21640	72,85
7	$\log V_{cc} = B_0 + B_1 \log V_{st}$	$B_0 = -0,164781544$ $B_1 = 1,008389316$	0,9814923	4071,56	0,05831	21,48
8	$\log V_{sol} = B_0 + B_1 \log V_{st}$	$B_0 = -0,201916985$ $B_1 = 1,002762583$	0,9844117	1378,40	0,05613	18,90

mesmo estêreo:

$$Rs = Vcc - Vsol$$

$$Rs = 0,725636445 \cdot Vst - 0,611274236 \cdot Vst$$

$$Rs = 0,11436229 Vst$$

Esta relação permite estimar o resto de material lenhoso conhecendo-se o volume em estêreo por árvore.

Os resíduos, considerando as funções lineares anteriores, podem ser expressos em forma de percentagem com referência ao volume comercial com casca e cujo valor estaria próximo de 15,76%. Este valor indica o volume de madeira não aproveitável, em percentagem.

O coeficiente angular: 0,611274236 da função linear:

$Vsol = f(Vst)$  coincide com o coeficiente de empilhamento 0,615457 salvo uma pequena diferença, o que significa, que este coeficiente pode ser encontrado através, de uma regressão linear que passa pela origem (LANLY<sup>27</sup>).

Observando-se o gráfico da FIGURA 27, pode-se verificar que árvores de maior volume fornecem maiores resíduos. A bracinga ao se desenvolver em meios naturais desenvolve copas muito evoluídas. Portanto, os volumes dos galhos são também desenvolvidos e no momento da exploração existirão galhos de formas irregulares que não serão aproveitados em forma de lenha.

Finalmente apresenta-se duas tabelas de volume individual para a bracinga, uma delas em m<sup>3</sup> e a outra expressa em estêreos, utilizando-se em sua construção as equações obtidas e corrigidas pelo fator de correção de MEYER.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 1- CONCLUSÕES

1. Dos treze modelos testados para a confecção de tabelas de volume comercial com casca, a equação logarítmica de SPURR, foi a que melhor se ajustou seguida pela equação de SCHUMACHER & HALL. Por isso na confecção de tabelas de volume usou-se o modelo de SPURR corrigido:

$$V = 3,2493236 \times 10^{-5} (D^2H)^{1,044443097}$$

ou

$$\log V = -4,48820703 + 1,044443097 \log D^2H$$

com coeficiente de correlação múltipla  $R = 0,9890399$ , erro padrão da estimativa  $S_{yx} = 0,04367$  e o coeficiente de variação residual  $S_{yx\%} = 16,01\%$ . O fator de correção por discrepância logarítmica foi:  $F = 1,005068343$ .

2. Após a análise das cinco equações pré-selecionadas fornecidas pelo computador através do método de eliminação de variáveis STEPWISE REGRESSION, e as equações logarítmicas de SCHUMACHER & HALL e SPURR, escolheu-se para a elaboração da tabela de volume individual em estéreos o modelo:

$$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log(\log D^2H)$$

A equação ajustada e corrigida pelo fator de correção de MEYER  $F = 1,00958267$ , adquiriu a seguinte configuração:



$$V = 8,8818868 \times 10^{-6} (\log D^2 H)^{8,114867695}$$

ou

$$\log V = - 5,051494762 + 8,114867695 \log (\log D^2 H) \quad \text{com}$$

$$R = 0,978496, \text{ Syx} = 0,05998, \text{ Syx\%} = 15,53\%.$$

3 O coeficiente de empilhamento médio determinado ( $F_c=0,615$ ) encontra-se dentro dos limites admissíveis de uso prático, 95% de probabilidade, correspondendo ao intervalo de confiança:

$$I_c = 0,615 \pm 0,01356$$

O mesmo coeficiente calculado através da razão das médias: volume sólido médio ( $\bar{V}_{sol}$ ) e o volume em estêreo médio ( $\bar{V}_{st}$ ) igual a 0,613 apresenta uma mínima diferença dado que o erro relativo ( $\delta$ ) entre eles atinge apenas 0,29%. Significando em consequência que pode-se determinar o coeficiente de empilhamento por meio de qualquer dos procedimentos mencionados.

4 A relação existente entre volume comercial com casca ( $V_{cc}$ ), volume sólido aproveitável ( $V_{sol}$ ) e volume em estêreo ( $V_{st}$ ), com referência a uma árvore segue a forma linear. Por isso, a diferença das funções ajustadas:  $V_{cc} = g(V_{st})$  e  $V_{sol} = f(V_{st})$  determina o resíduo do material lenhoso que fica no mato; cujo resto expresso em  $m^3$  pode-se estimar através da equação:

$$R_s = 0,11436209 \cdot V_{st}$$

Este resíduo corresponde em média a 15,76% do volume comercial com casca individual.

#### - RECOMENDAÇÕES

As tabelas volumétricas construídas, não devem ser utilizadas sem restrições, para a estimativa de volume individuais.

expressos, tanto em  $m^3$ , como em estéreos. Recomenda-se a sua aplicação somente dentro da amplitude do DAP e h incluído nesta pesquisa. Deve-se considerar a possibilidade de que os diferentes locais, sítios e densidades de povoamentos exercem efeitos significativos sobre o volume individual, pelo que sua aplicação deverá ser, a aqueles povoamentos naturais semelhantes à FLONA de Açungui, e a extrapolação a outros povoamentos precisa de um teste preliminar da acuracidade das tabelas, antes de sua aplicação.

Na escolha das equações volumétricas não se devem utilizar apenas os critérios de  $R^2$  e  $S_{yx}$ , mas também os testes gráficos de suas tendências e os gráficos de distribuição dos resíduos. Para a obtenção de equações volumétricas de maior precisão, deve-se aumentar a área de amostragem e o número de árvores-amostra, refinando-se a metodologia e incluindo variáveis qualitativas (variáveis dummy), além do teste de probabilidade associada dos resíduos desenvolvidos por SWED & EISENHART\*.

O método STEPWISE REGRESSION pode ser usado na obtenção de modelos "ideais" com reduzido número de variáveis independentes, a partir de modelos "gerais" ou "gigantes" com inúmeras variáveis independentes. Pelo que, sua aplicação bem sucedida, estará orientada às pesquisas florestais, onde precisa-se o emprego das técnicas e análises de regressão.

\* SWED & EISENHART. Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives. Annals of Mathematical Statistics, 14, 1943. p. 66-67.

## SUMMARY

This a research work dealing with volume measurement of bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), a fast growing Brazilian native species presenting a high fuelwood value. Volume tables were made using data collected from natural stands in Açungui National Forest at Campo Largo, Paraná, Brazil. Two standard volume tables were made. One to estimate merchantable volume with bark in cubic meters. Thirteen mathematical models suggested by WENDLING were adjusted to estimate volume of individual trees. The model known as SPURR logarithmic combined variable equation was chosen due to its consistency and because it presented the best statistics, namely: multiple correlation coefficient ( $R$ ) = 0.989039, Standard error of estimate  $Sy_x = 0.04367$ , residual coefficient of variation  $Sy_x\% = 16.01\%$ , and the best residual distribution. The adjusted model was:  $\log V = 4.4904402624 + 1.044443079 \log D^2H$ . To estimate volume in stere three general models with initially chosen of polynomial, logarithmic and exponential forms presenting 10, 12, and 6 independent variables, respectively. Following the process known as Stepwise Regression, to eliminate variables, five models were pre-chosen of which three were supposed to be the ideal models. After submitting them to statistical, analytical and graphic tests, the following model was chosen as the best one:  $\log V = \beta_0 + \beta_1 \log (\log D^2H)$ . This equation presents the following statistics:  $R = 0.978496$ ;  $Sy_x = 0.05998$ ;  $Sy_x\% = 15.53$ , and it shows a better residual distribution. The adjusted model was:  $\log V = -5.055636649 + 8.114867695 \log (\log D^2H)$ . The piling coefficient ( $F_c$ ), obtained by means of three calculation techniques, as 0.61 and it was used to convert volumes into cubic meters. Its reciprocal, used to convert volume into stere, was 1.64. Merchantable volume with bark ( $V_{cc}$ ), solid volume ( $V_{sol}$ ) and volume in stere ( $V_{st}$ ) were calculated. These volumes and their mathematical relations were used to estimate fuelwood volume lost in the forest per tree residual volume which was 15.76% of merchantable volume with bark. A relation was determined to estimate the residual volume per tree ( $R_s$ ):  $R_s = 0.1143629 V_{st}$ . Correction coefficients were used to prepare volume tables of merchantable volume with bark in cubic meters and volume in stere. Correction coefficients were 1.00506843 for the first tables and 1.00958267 for the second.

## APENDICE

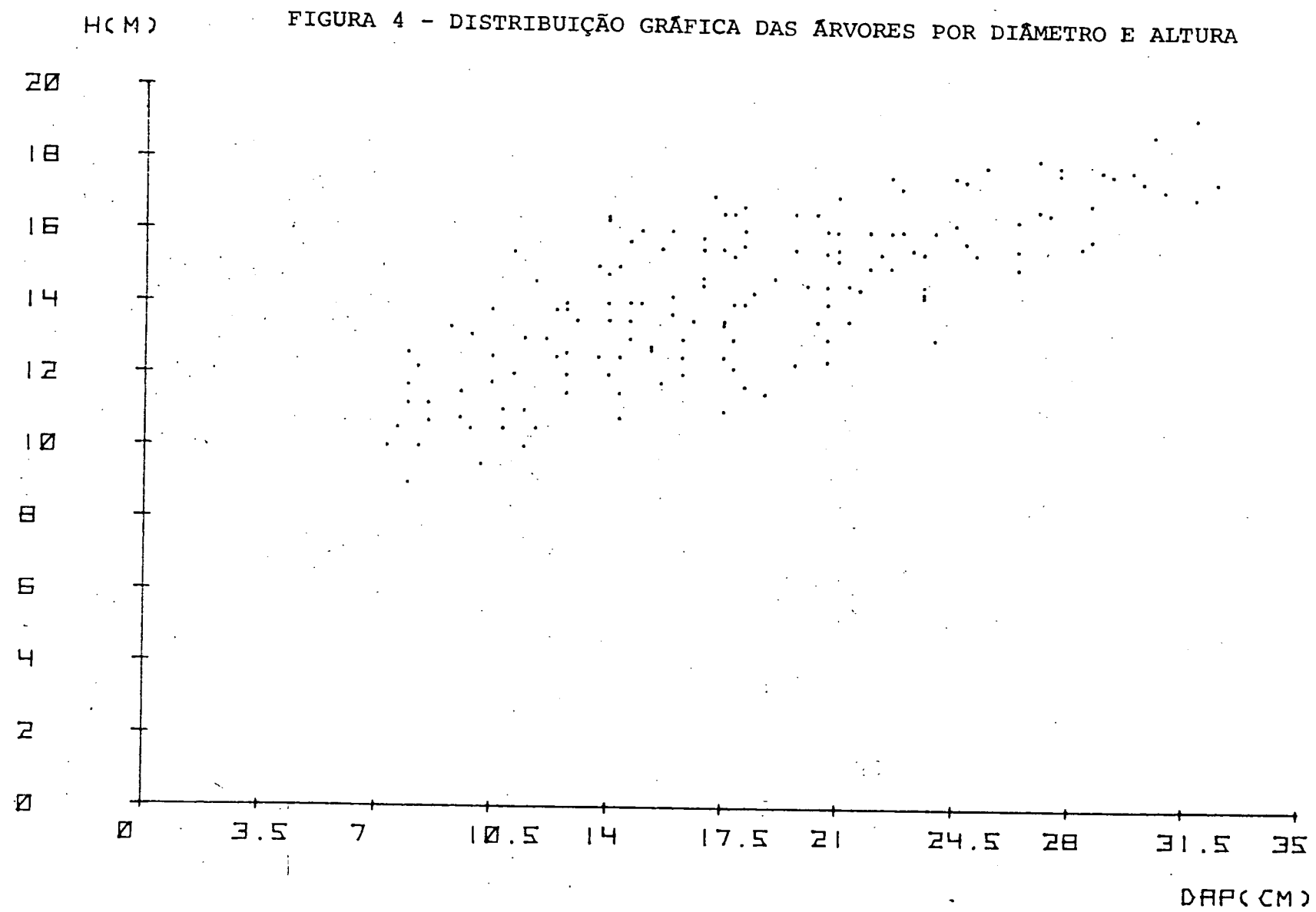


FIGURA 5 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (2) DE MEYER EM PLANO (D, V).

H é substituído pelo valor da altura média estimada ( $\hat{H}$ ) e os valores de seus desvios correspondentes:  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Sendo  $\hat{H} = f(D)$  ajustado pela relação hipsométrica  $\log H = b_0 + b_1 \log D$

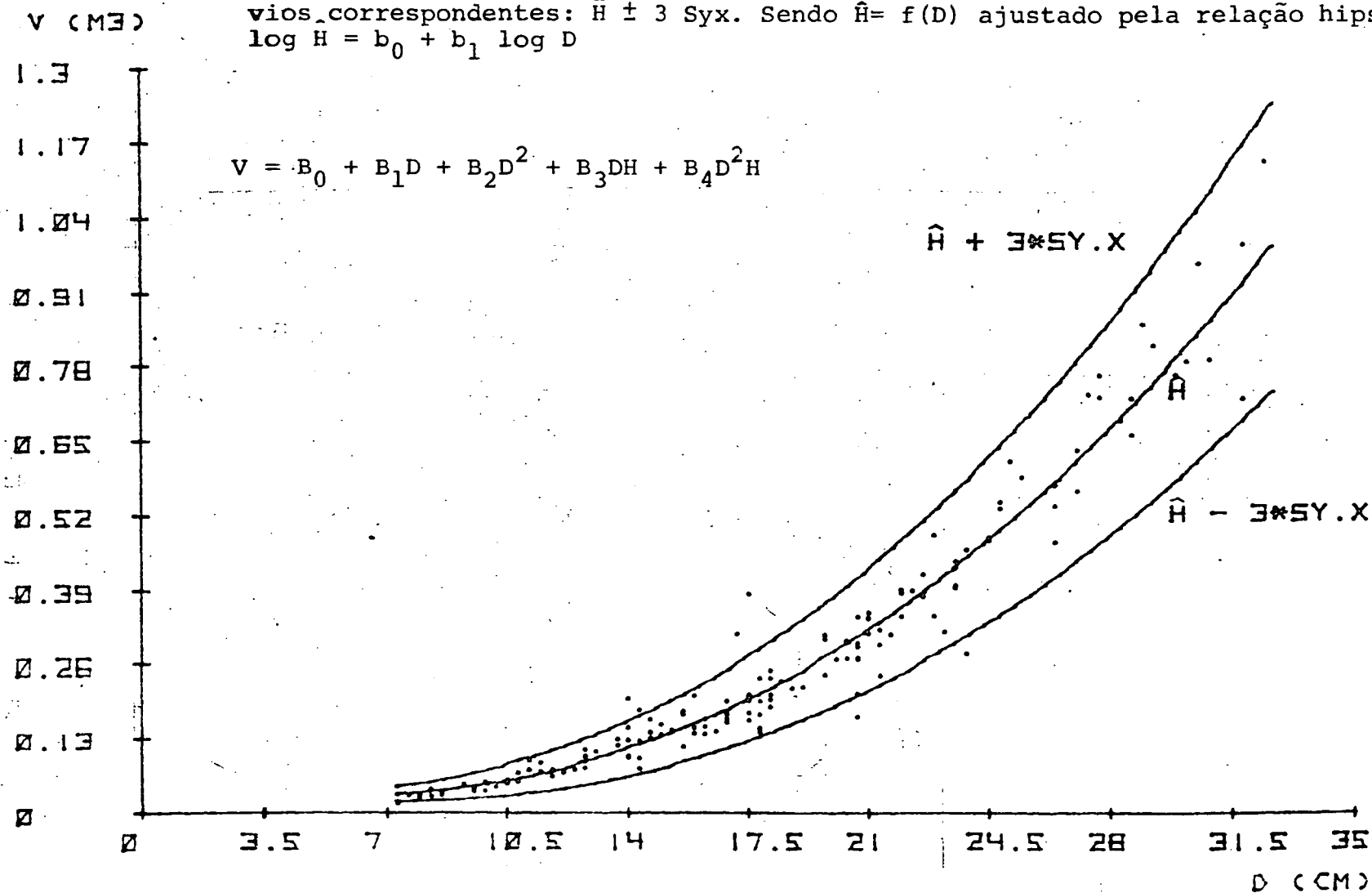


FIGURA 6 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (6) DE SPURR (VARIÁVEL COMBINADA) EM PLANO (D,V)

H é substituído pelo valor da altura média estimada ( $\hat{H}$ ) e os valores de seus desvios correspondentes:  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Sendo  $H = f(D)$  ajustado pela relação hipsométrica  $\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log D$

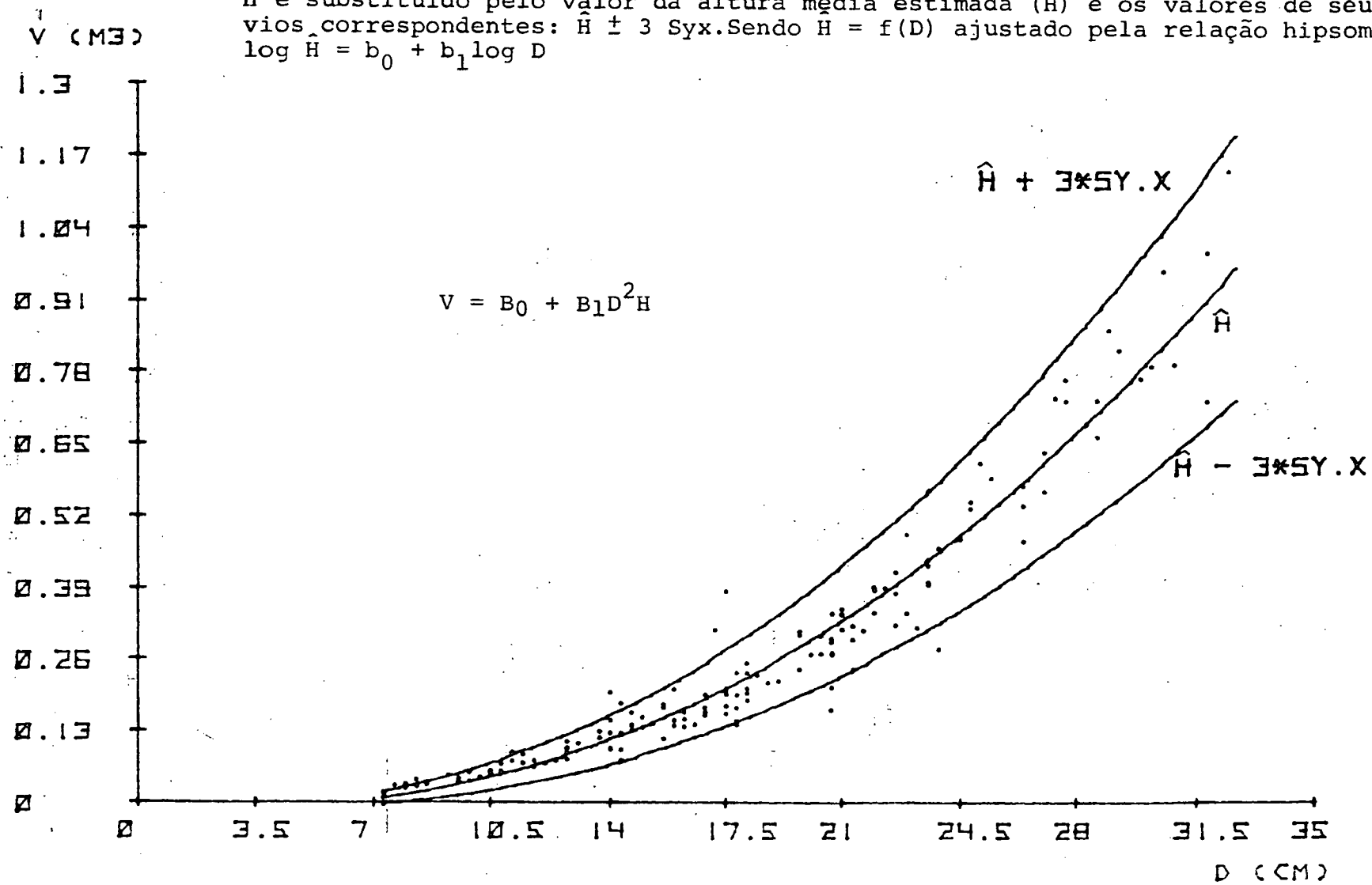


FIGURA 7 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA(10) DE SCHUMACHER & HALL EM PLANO (D, V).

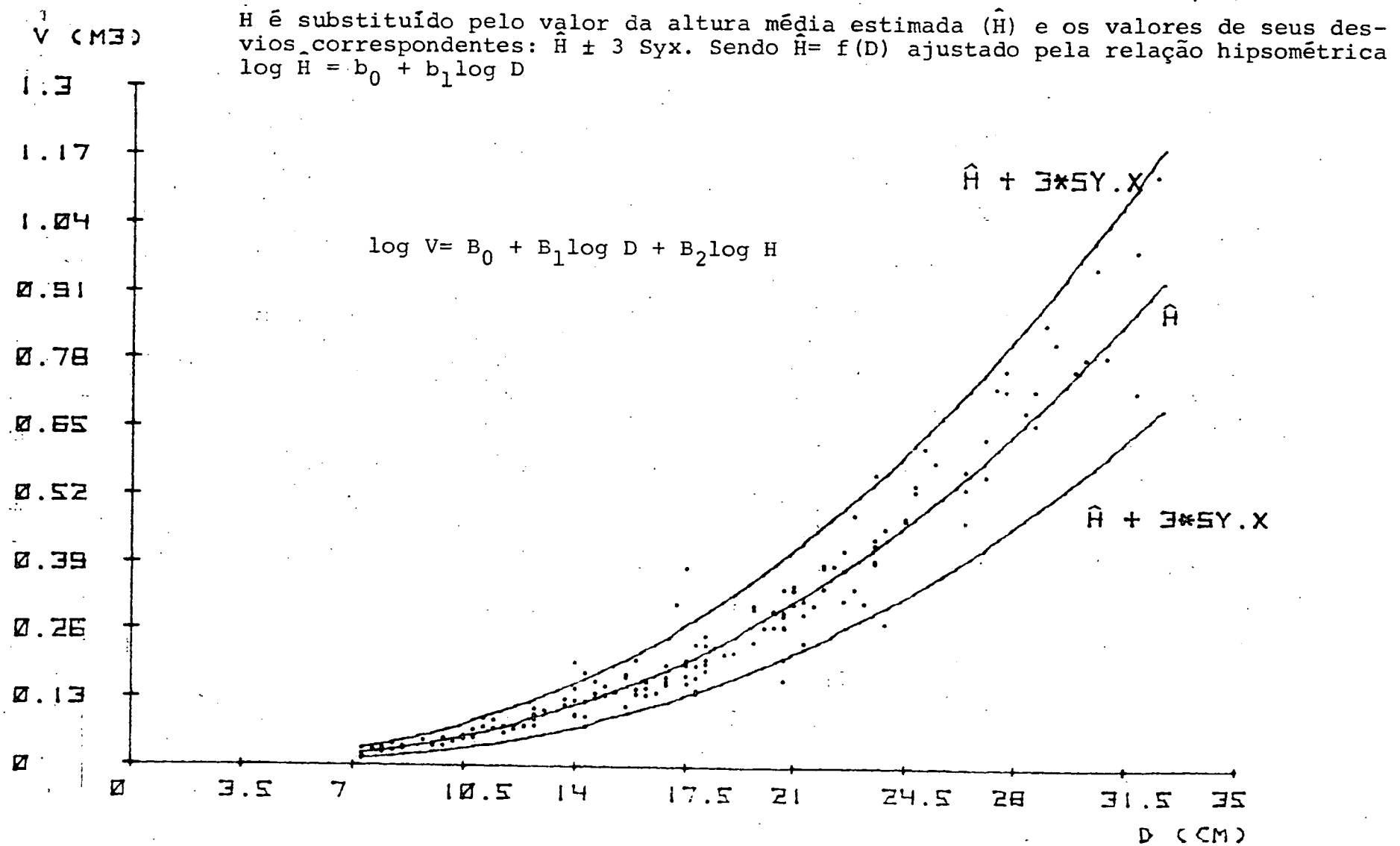




FIGURA 8 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (11) DE SPURR (VARIÁVEL COMBINADA LOGARITMIZADA) EM PLANO (D,V)

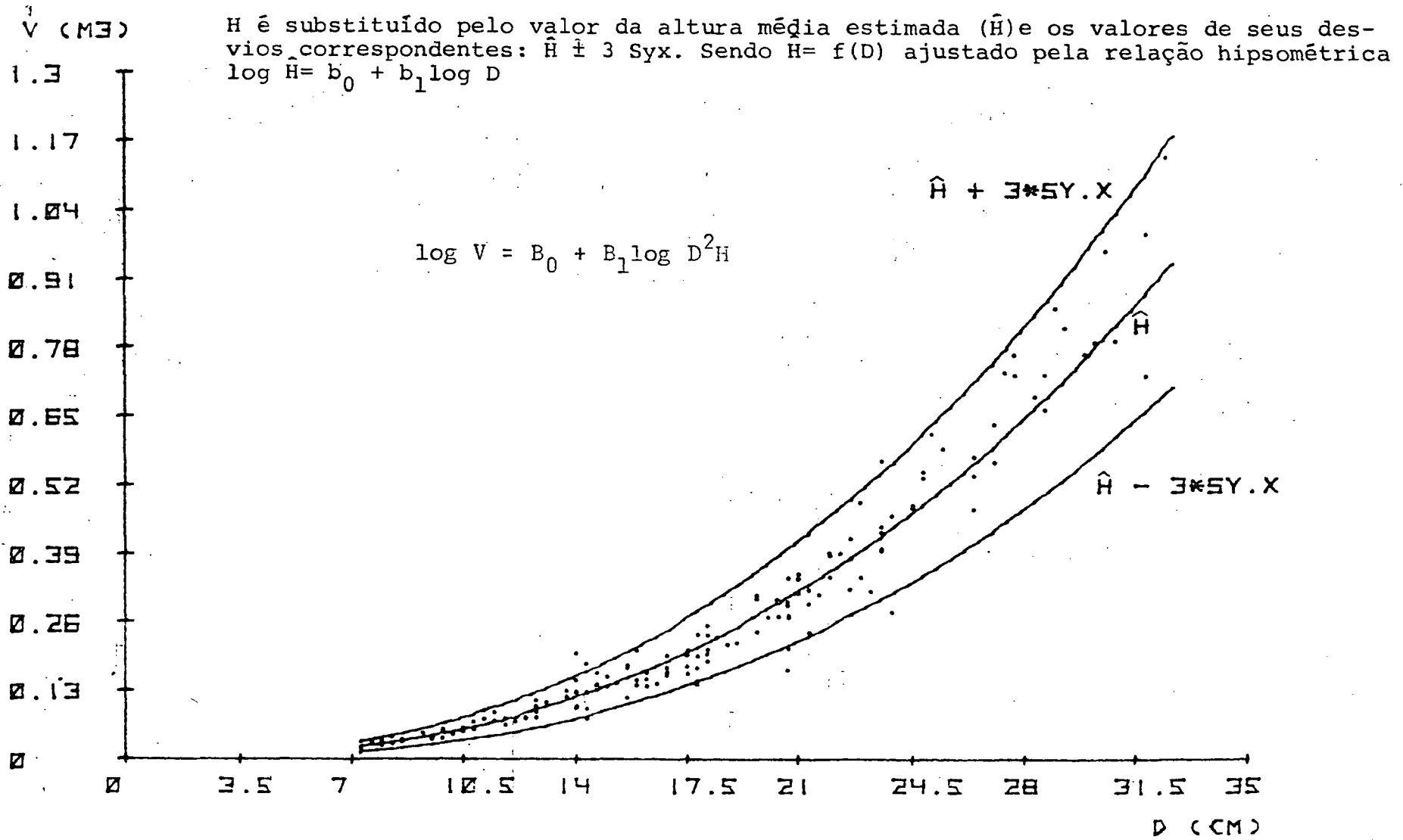


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA (2) DE MEYER

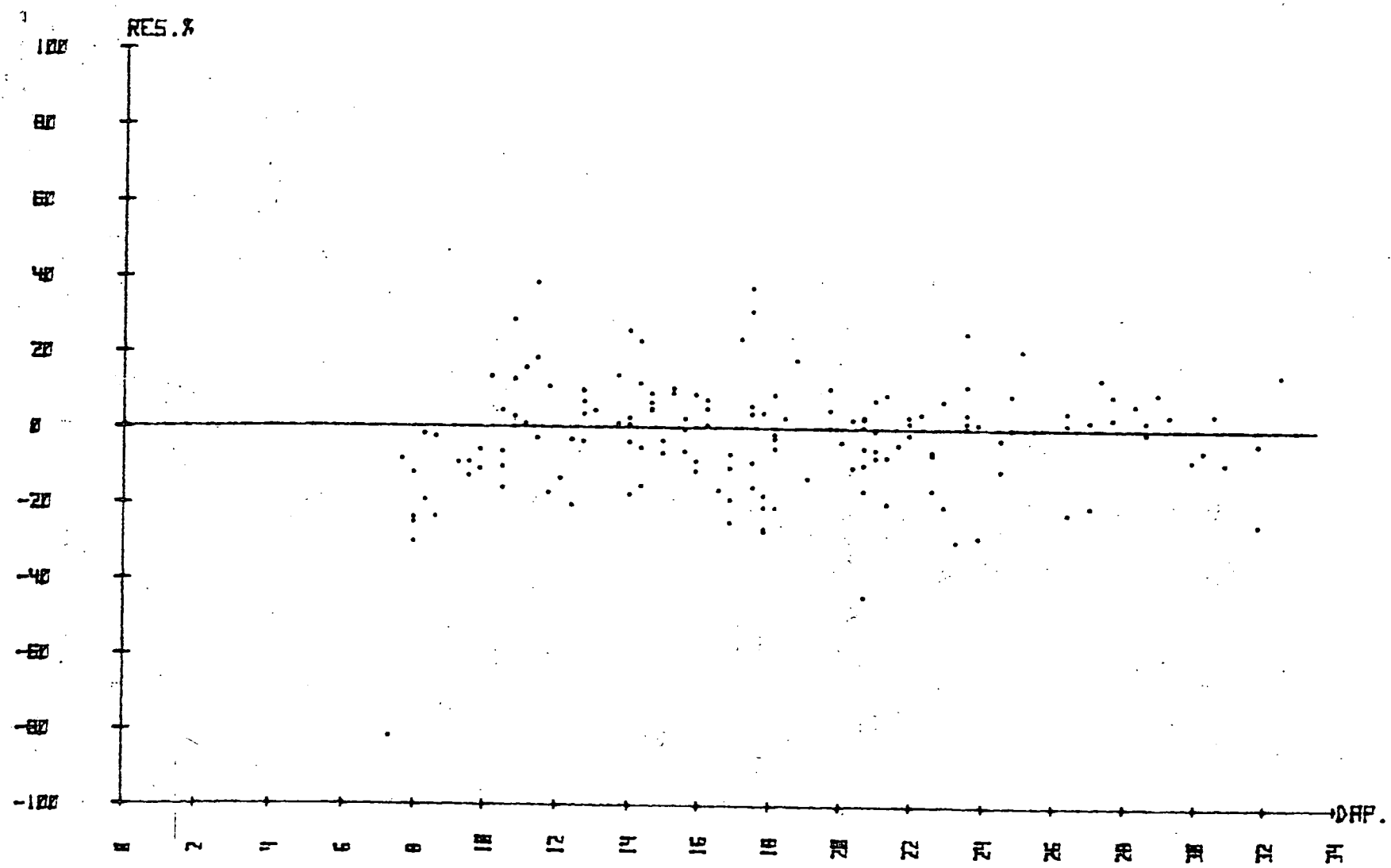


FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA  
(6) DE SPURR.

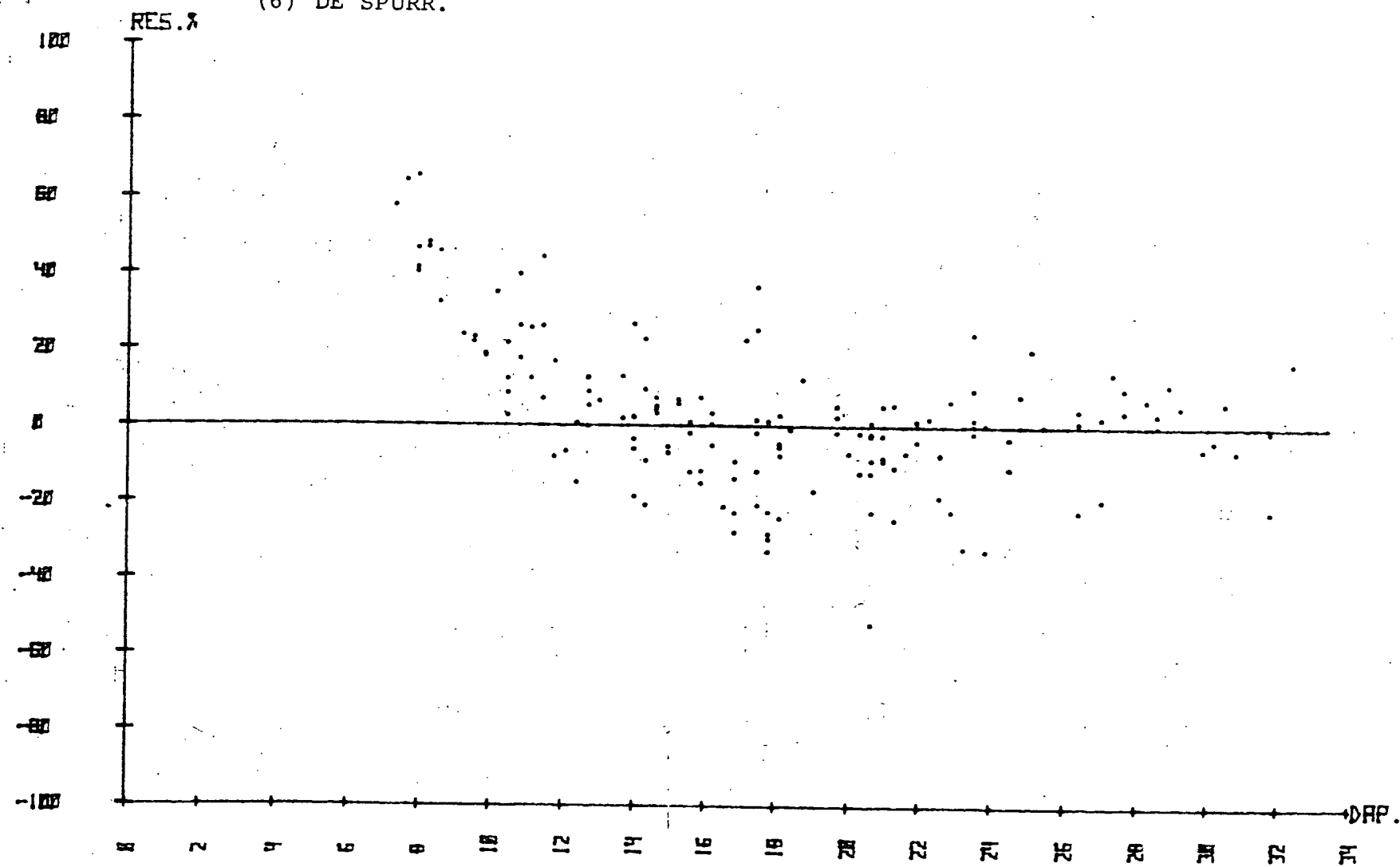


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA

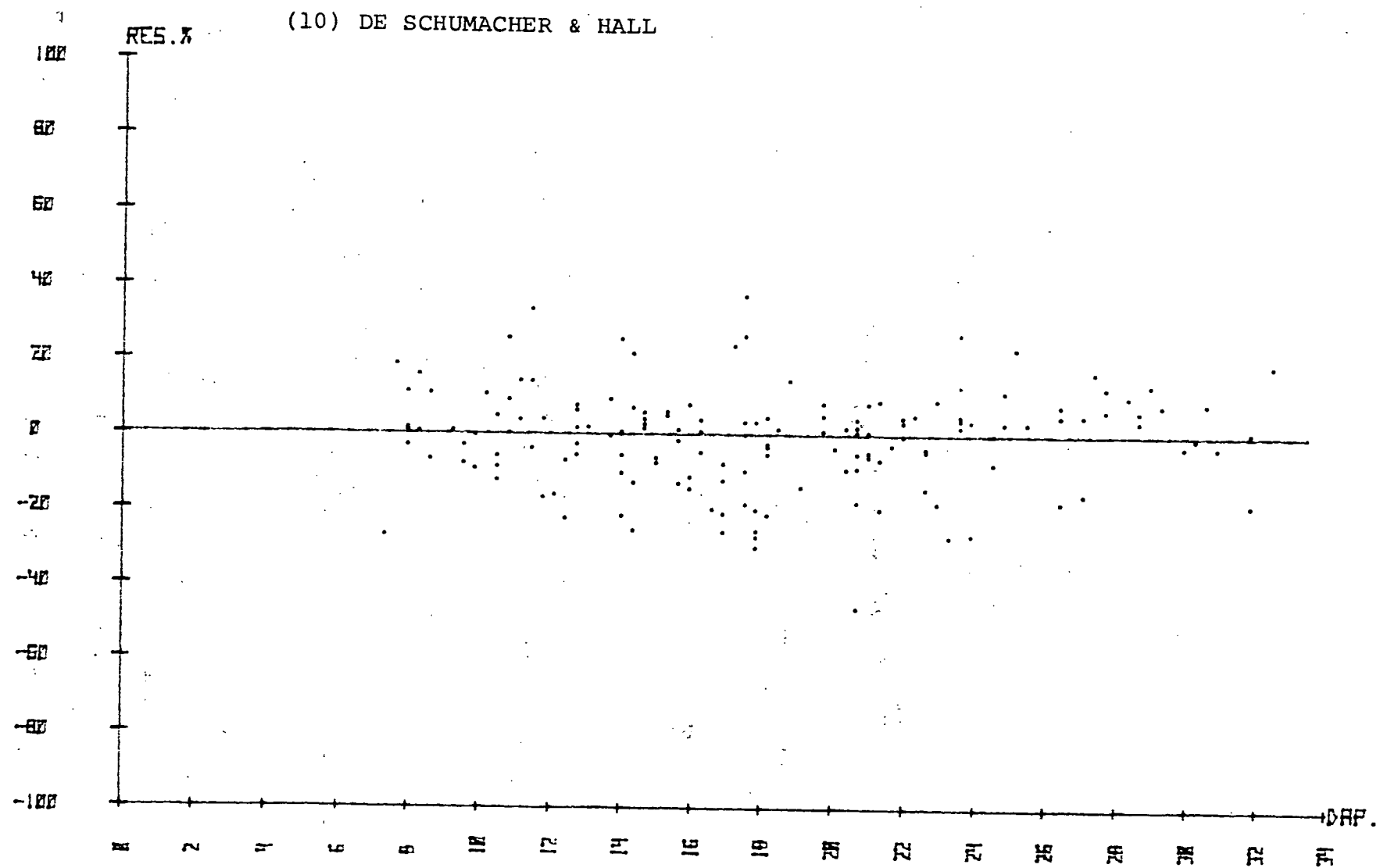


FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM PARA A EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA  
(11) DE SPURR (VARIÁVEL COMBINATA LOGARITMIZADA)

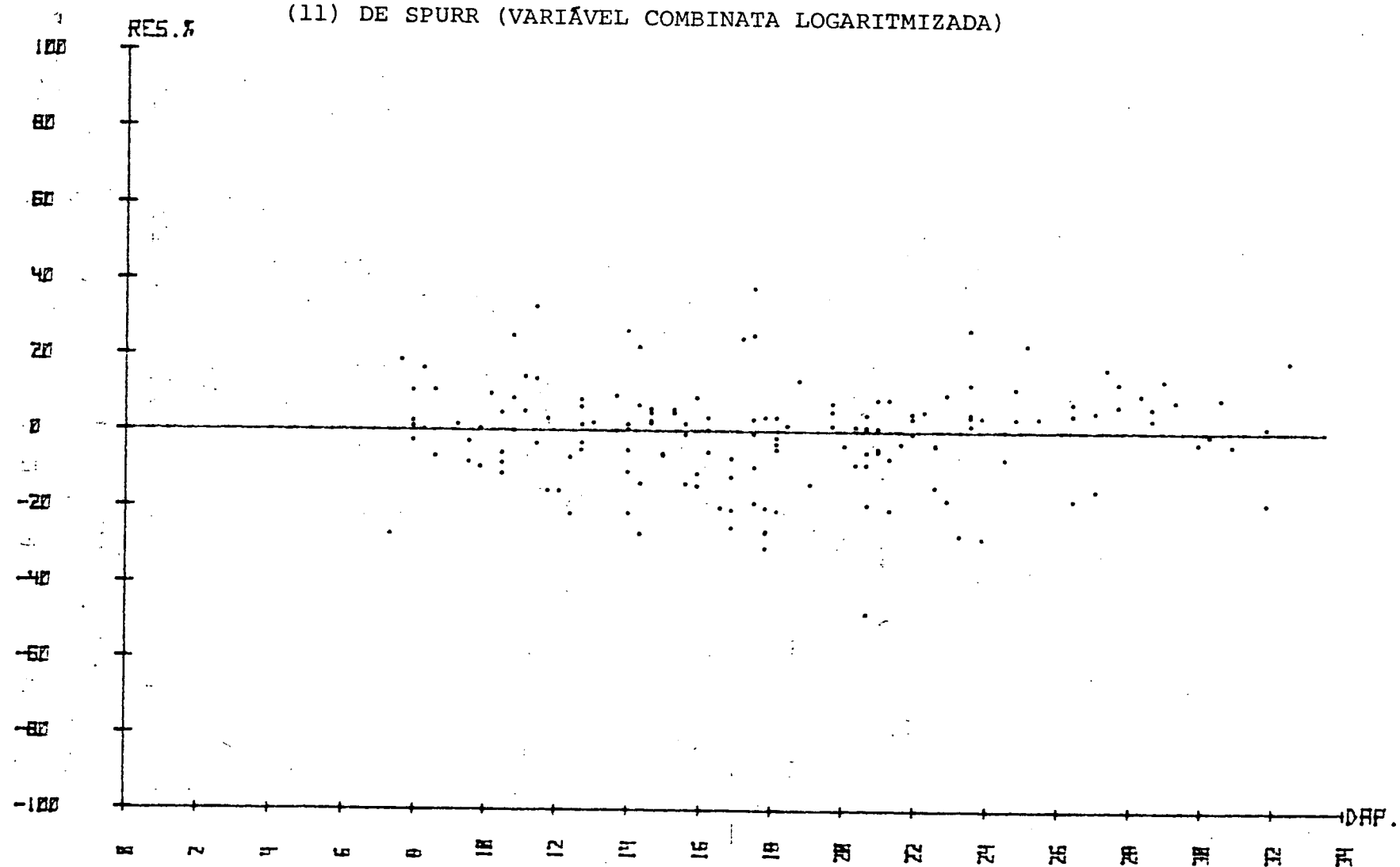


FIGURA 13 - GRÁFICO DA TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (1), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V).

H é substituído pelo valor da altura média estimada ( $\hat{H}$ ) e os valores de seus desvios correspondentes:  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Sendo  $\hat{H} = f(D)$  ajustado pela relação hipsométrica  $\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log D$

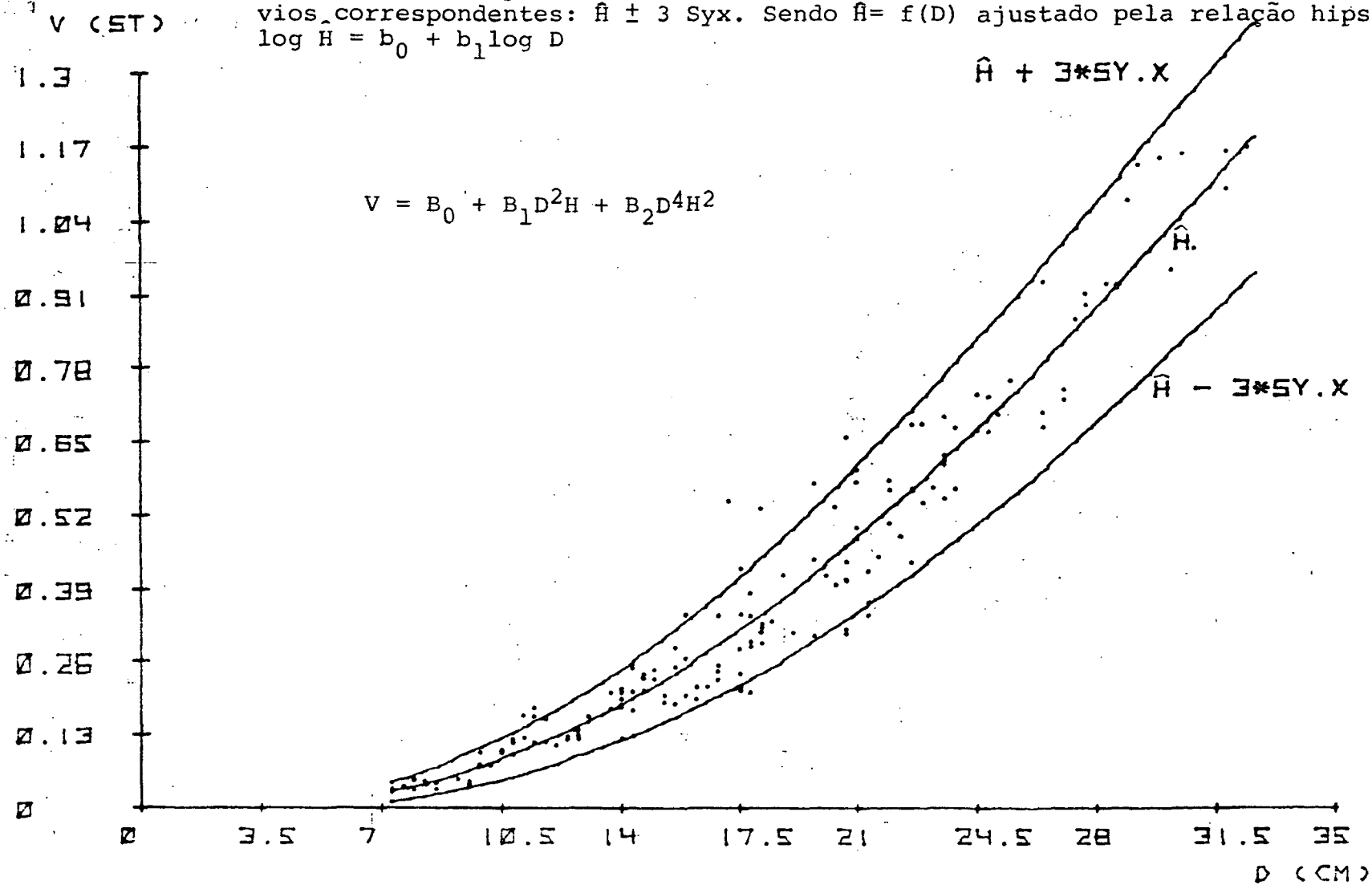


FIGURA 14 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (2), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D,V).

H é substituído pelo valor da altura média estimada ( $\hat{H}$ ) e os valores de seus desvios correspondentes:  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Sendo  $\hat{H} = f(D)$  ajustado pela relação hipsométrica  $\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log D$

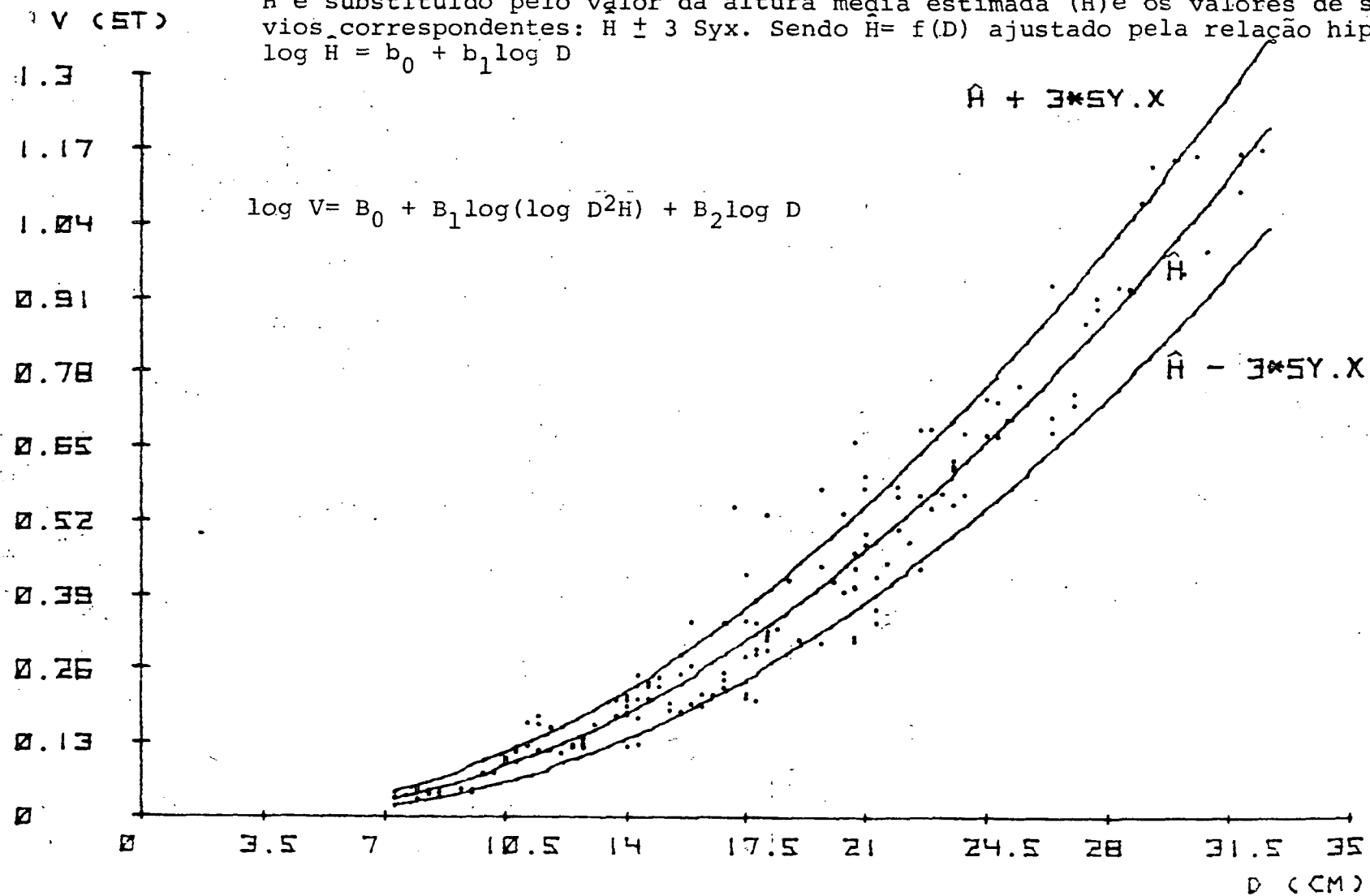


FIGURA 15 - GRÁFICO DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (3), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D,V)  
H é substituído pelo valor da altura média estimada ( $\hat{H}$ ) e os valores de seus des-  
vios correspondentes:  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Sendo  $H = f(D)$  ajustado pela relação hipsométrica  
 $\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log D$

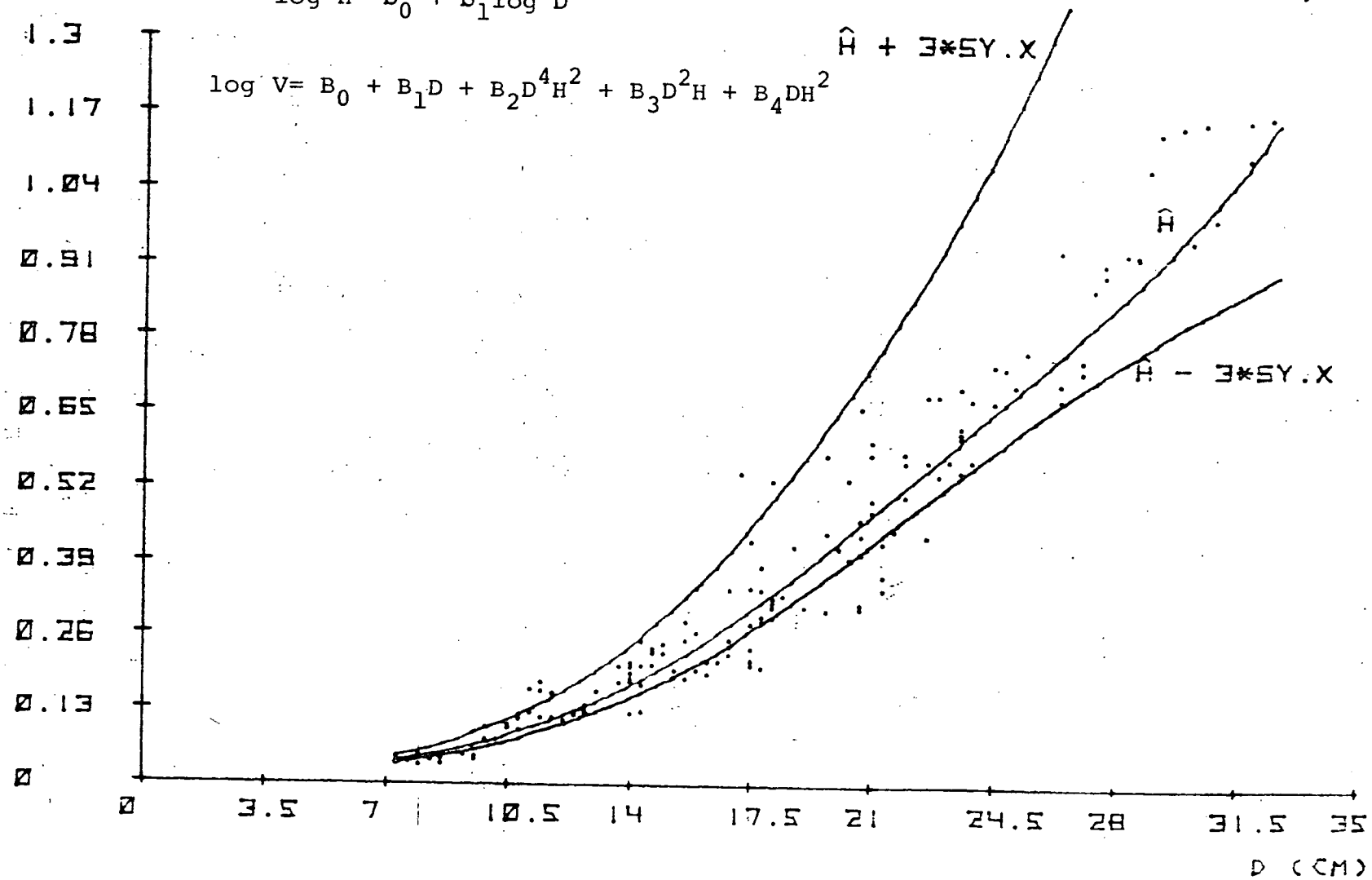




FIGURA 16 - GRÁFICO DA TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (4), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D,V)

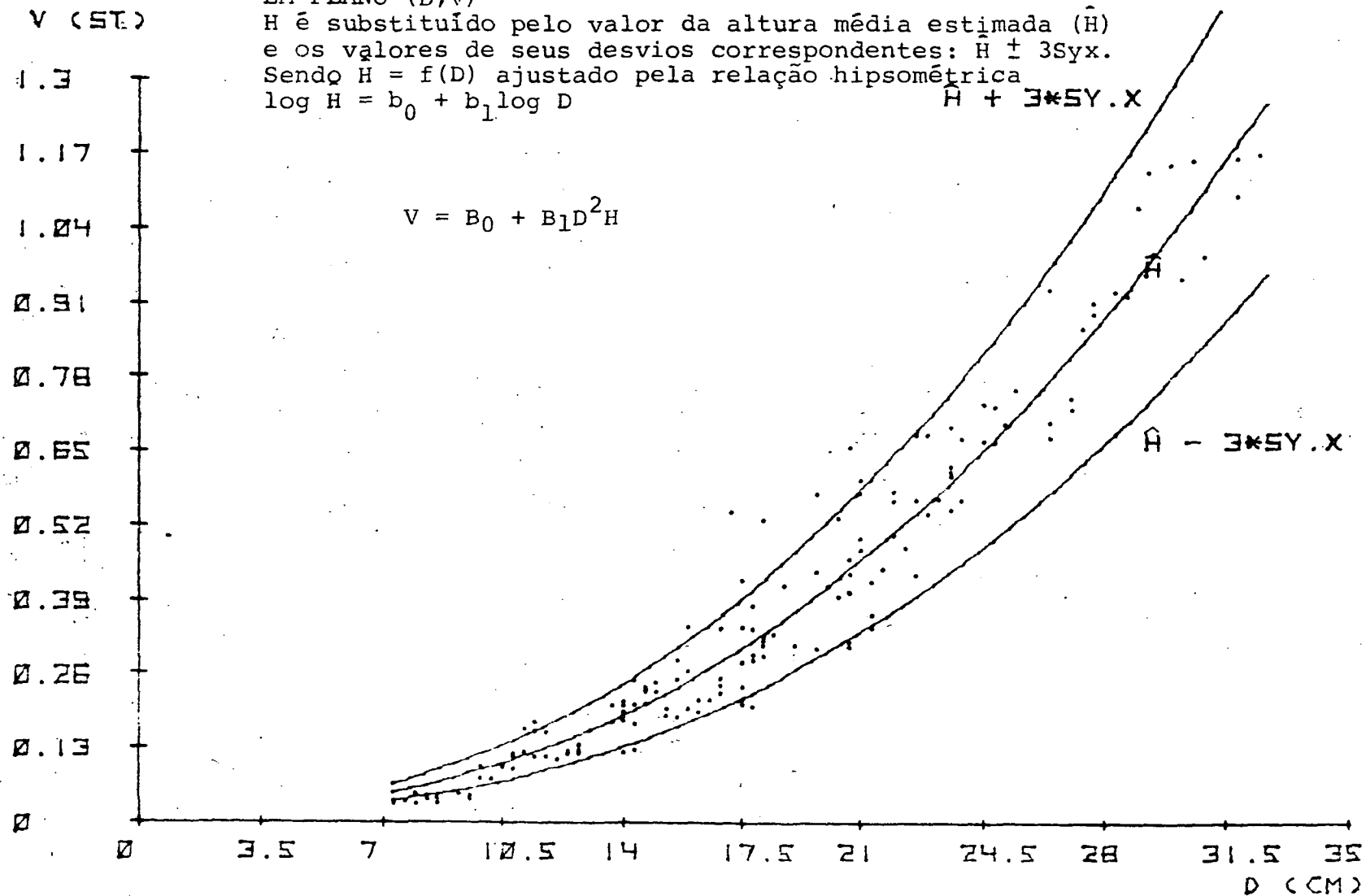


FIGURA 17 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA DO MODELO PRÉ-SELECIONADO (5), PELO MÉTODO STEPWISE REGRESSION EM PLANO (D, V).

H é substituído pelo valor da altura média estimada ( $\hat{H}$ ) e os valores de seus desvios correspondentes:  $\hat{H} \pm 3 \text{ Syx}$ . Sendo  $\hat{H} = f(D)$  ajustado pela relação hipsométrica  $\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log D$

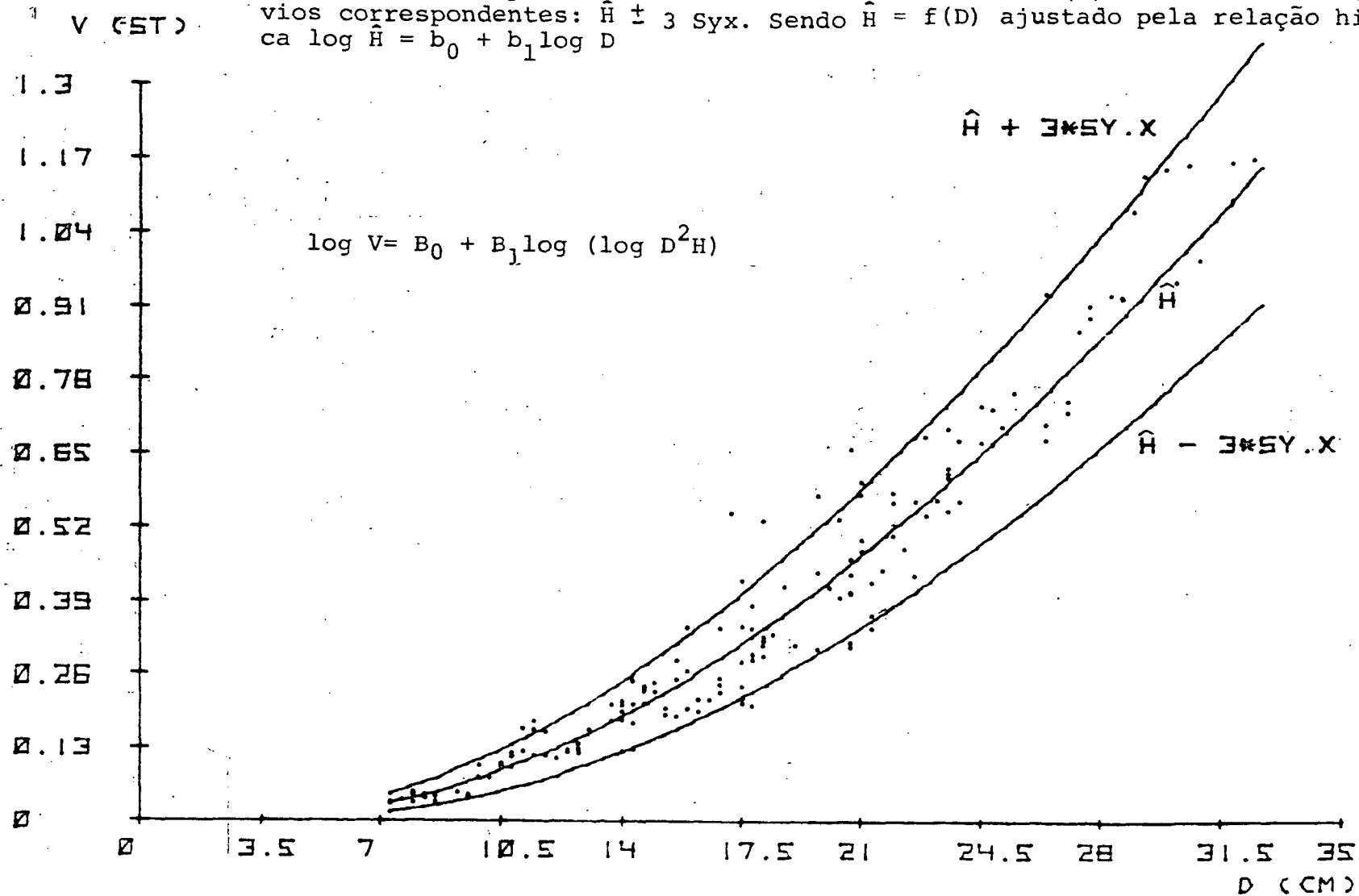


FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS ,  
PARA O MODELO PRÉ-SELECIONADO (1), SEGUNDO O STEPWISE REGRESSION

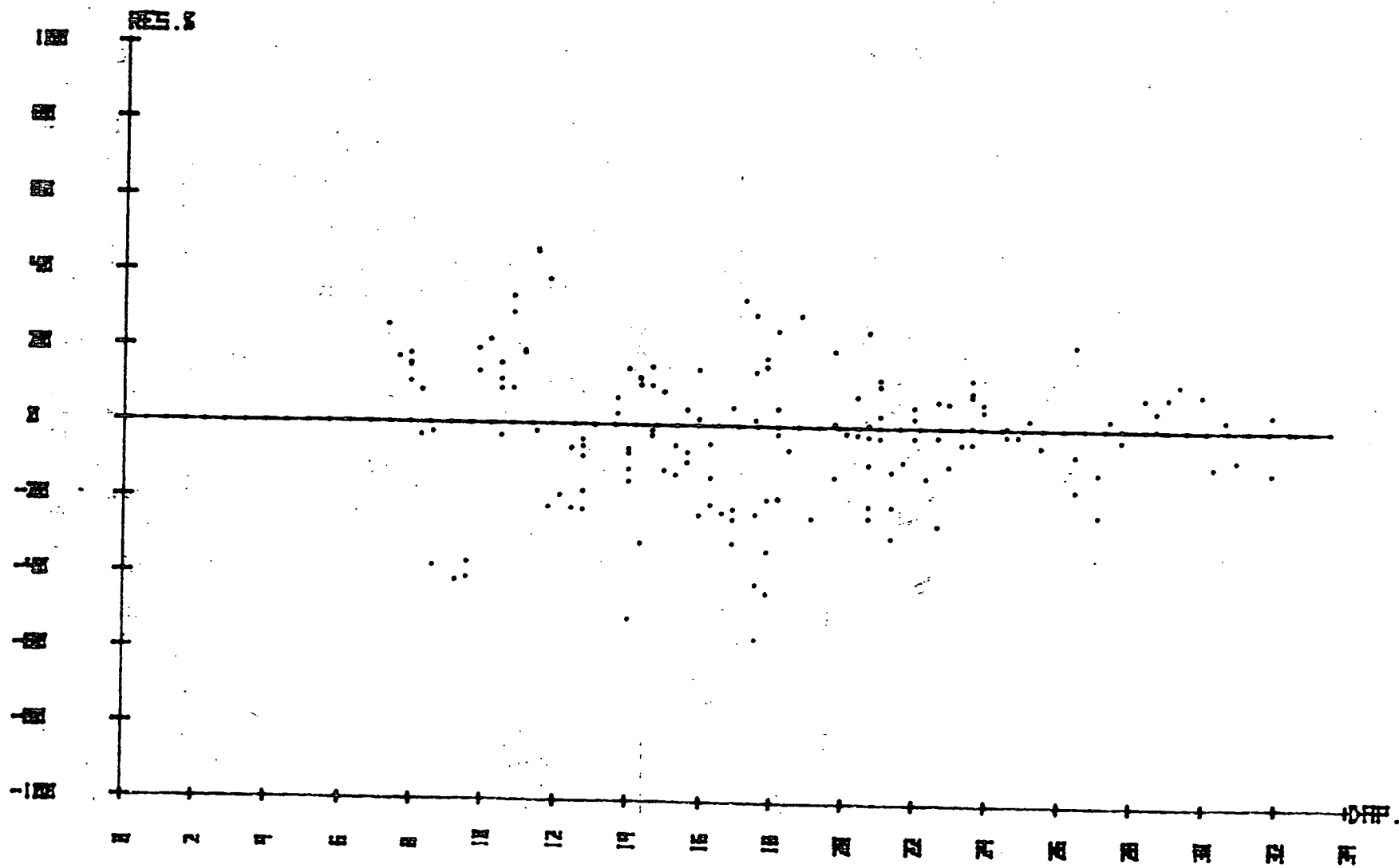


FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIONADO (2), SEGUNDO O STEPWISE REGRESSION

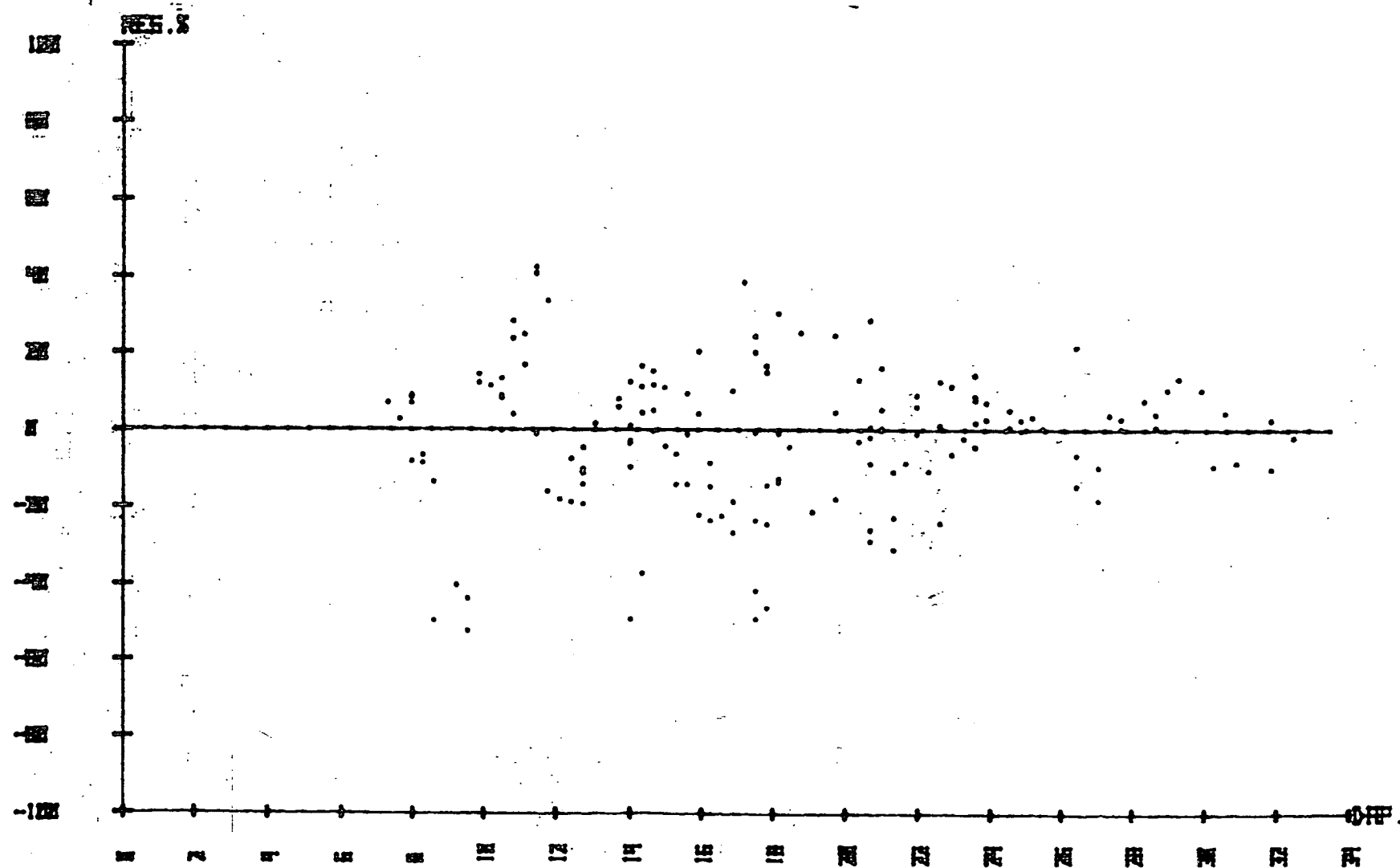


FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIONADO (3), SEGUNDO O STEPWISE REGRESSION

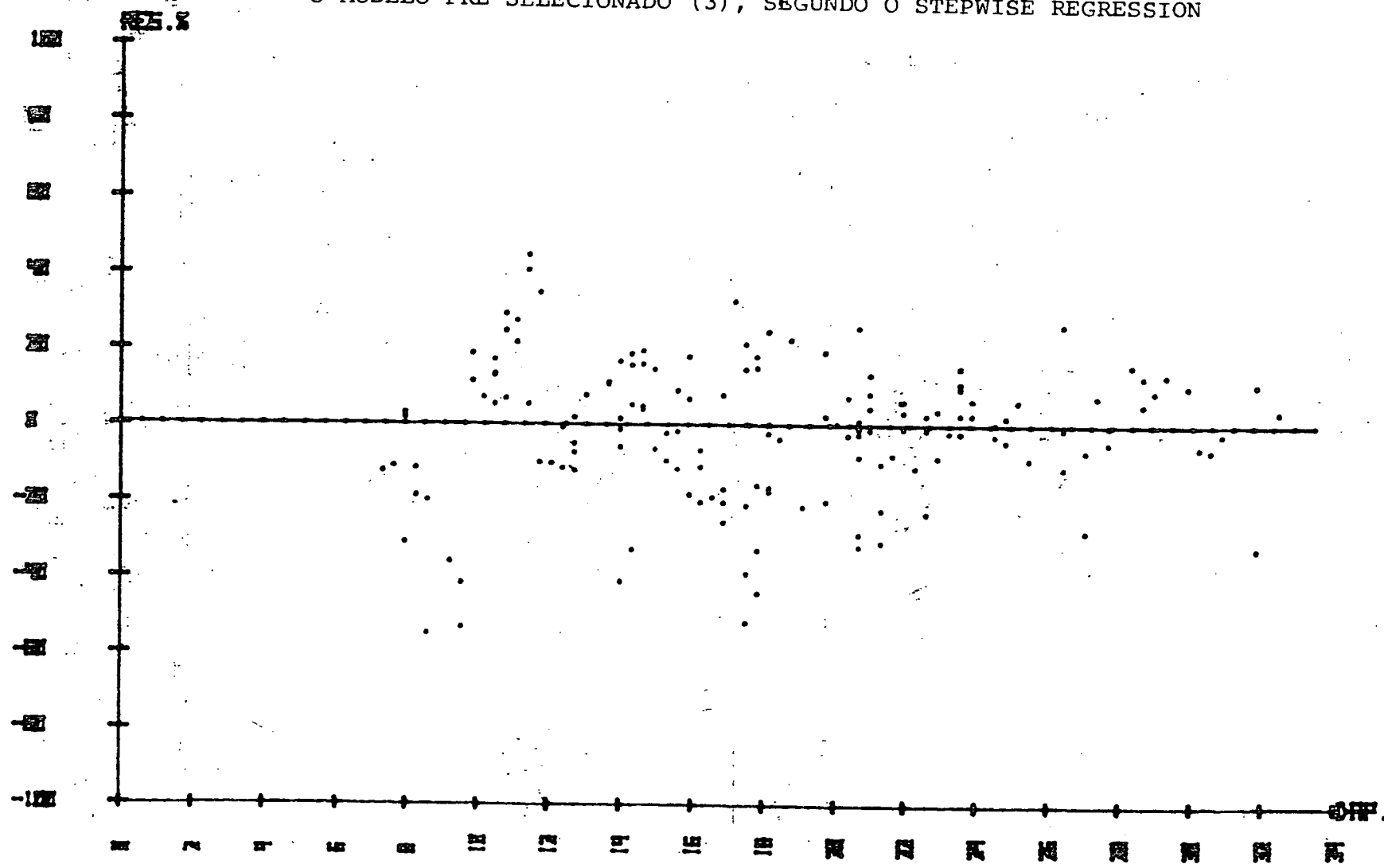


FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS - EM PORCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIONADO (4), SEGUNDO O STEWISE REGRESSION

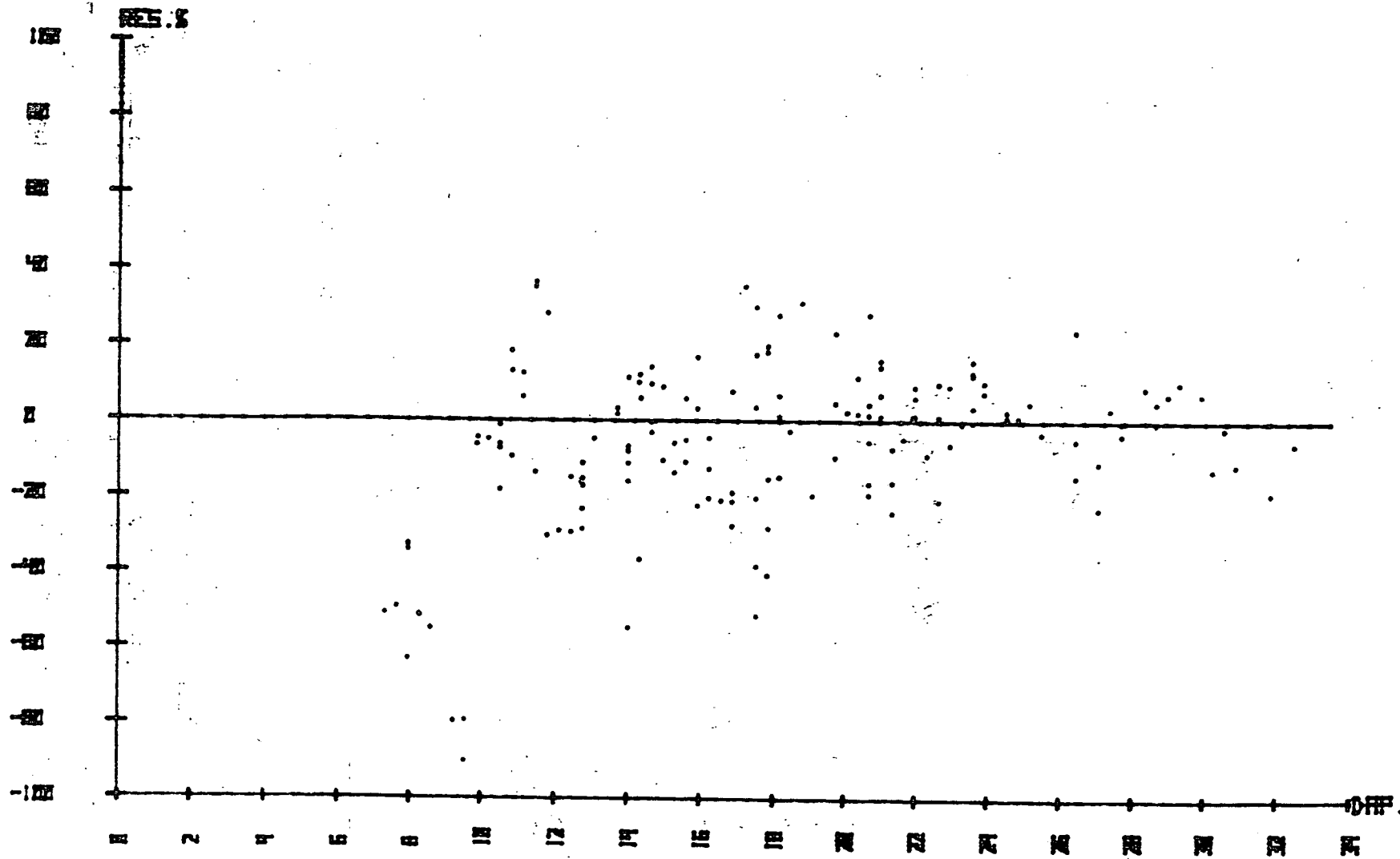


FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO PRÉ-SELECIONADO (5), SEGUNDO O STEPWISE REGRESSION

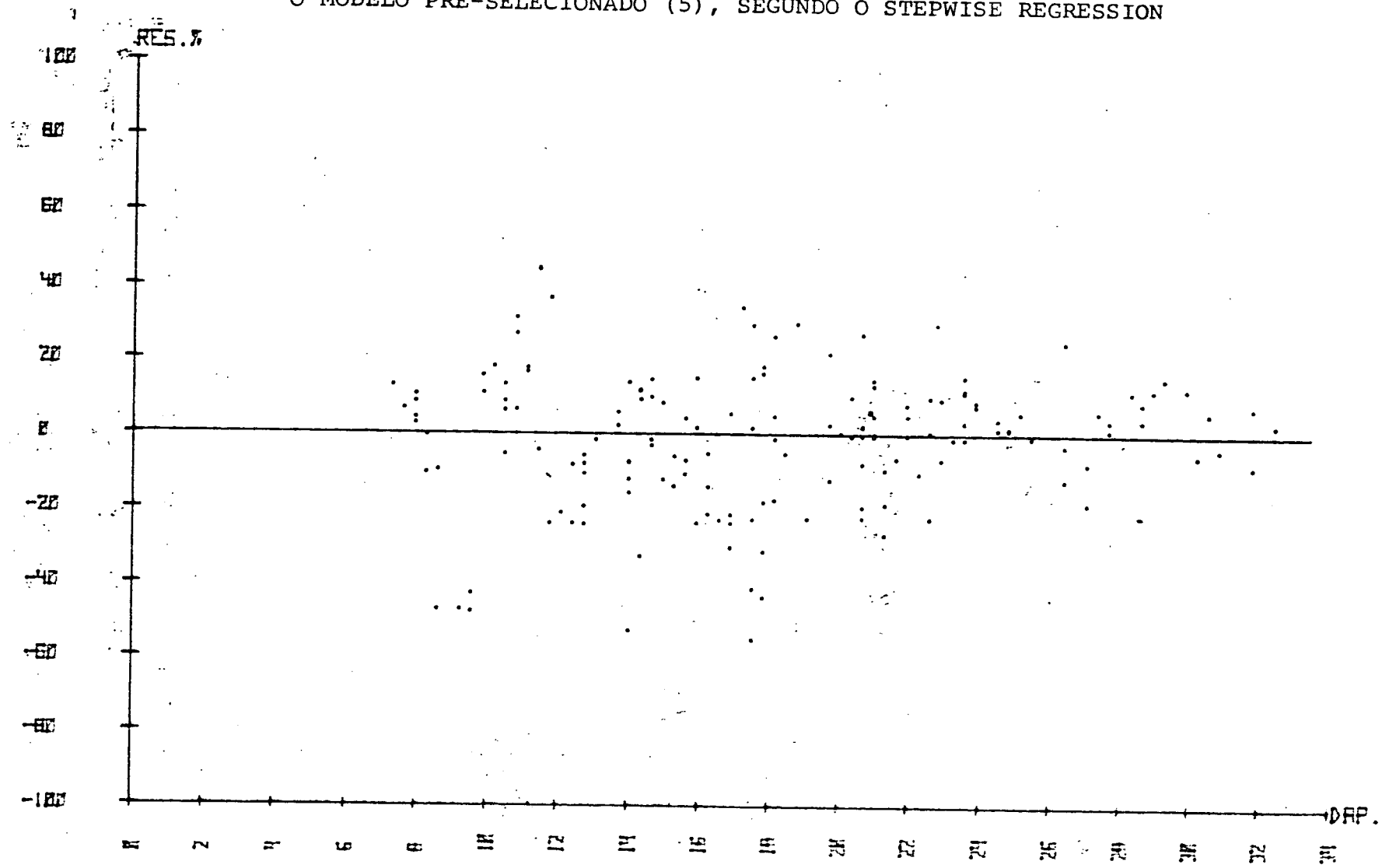


FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PERCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO (6) DE SCHUMACHER & HALL

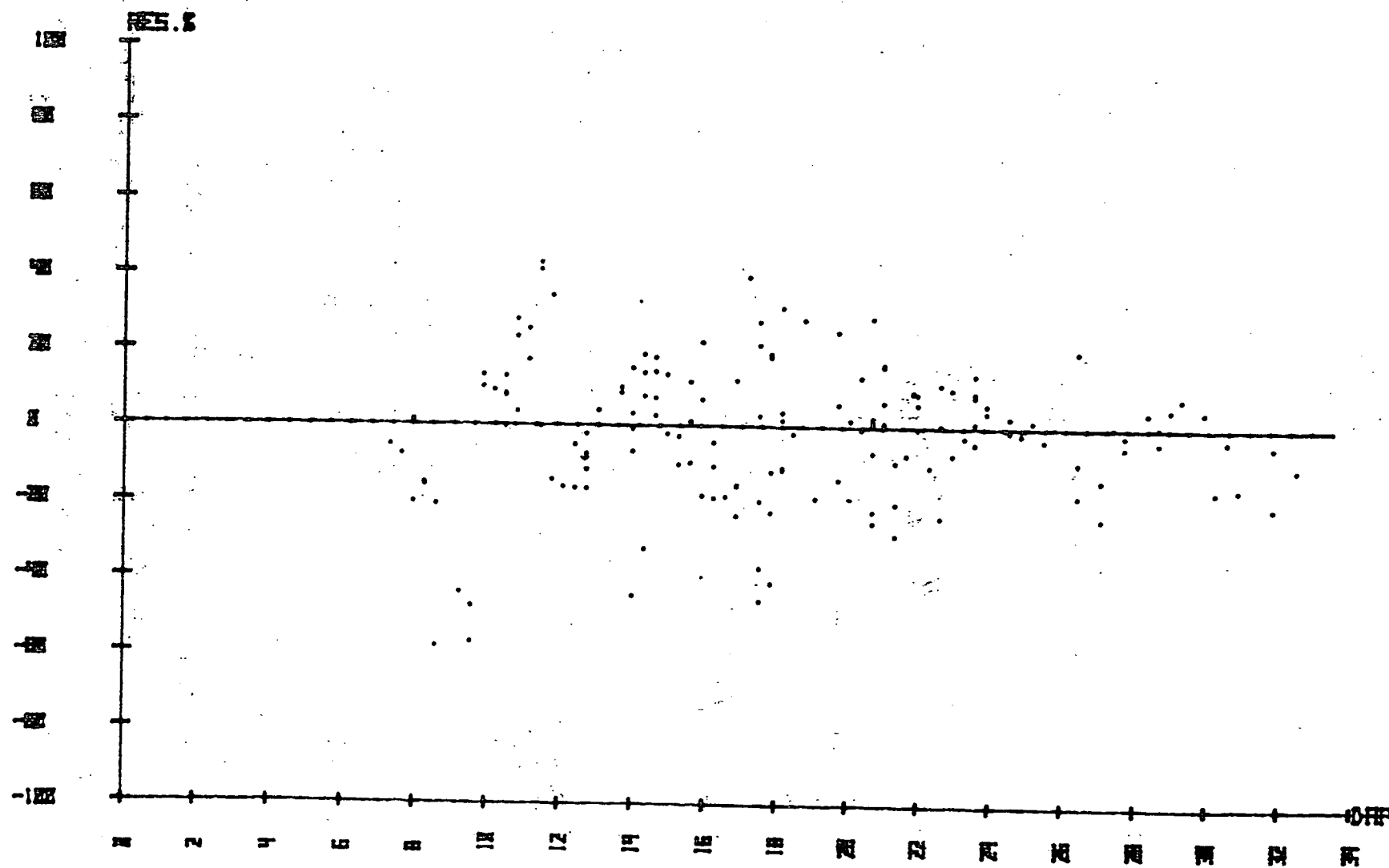




FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM DOS VOLUMES EM ESTÉREOS PARA O MODELO (7) DE SPURR

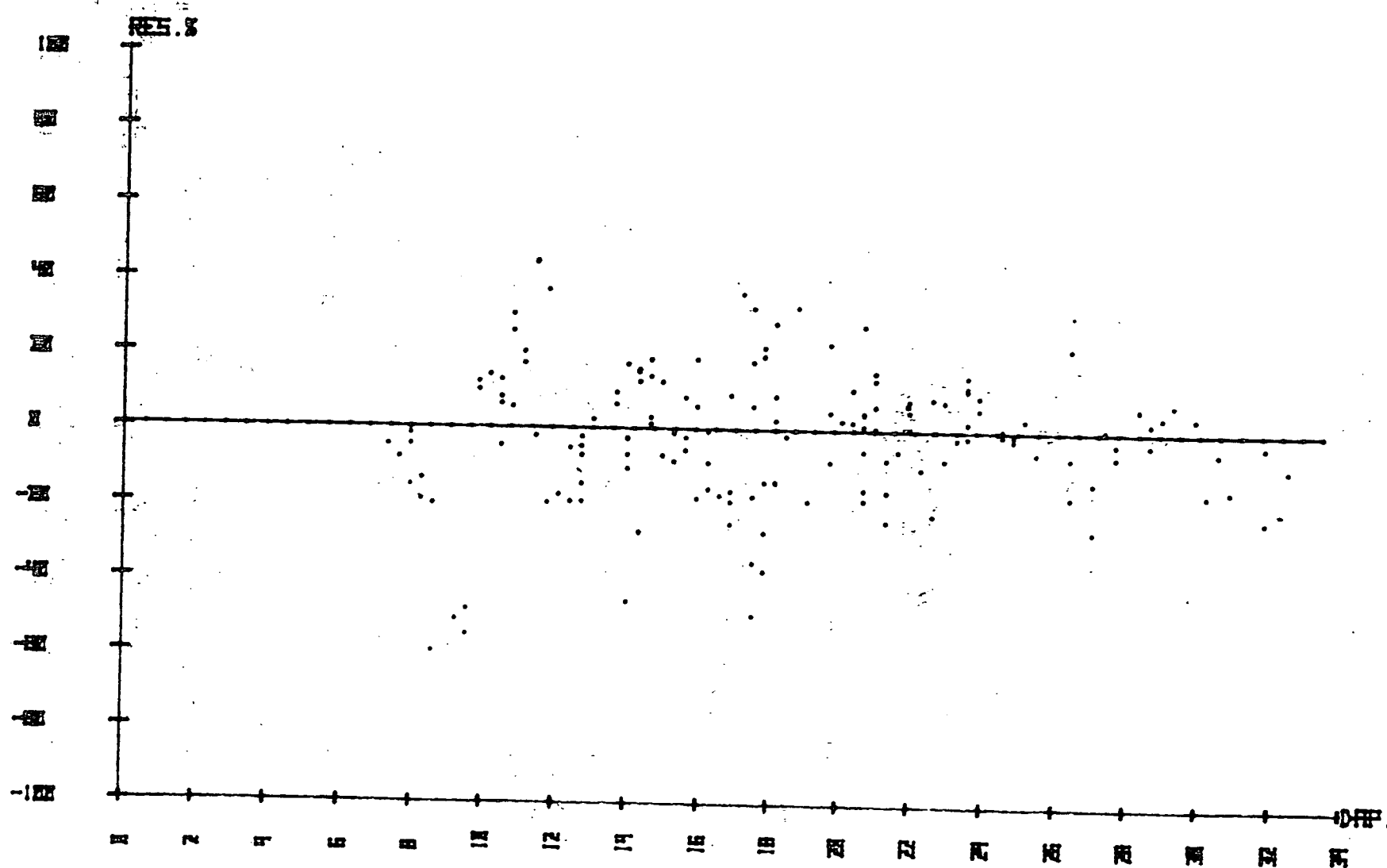


FIGURA 25 - GRÁFICO DE DOIS MODELOS PRÉ-SELECIONADOS E AJUSTADOS PARA A FUNÇÃO  $V_{cc} = g(V_{st})$

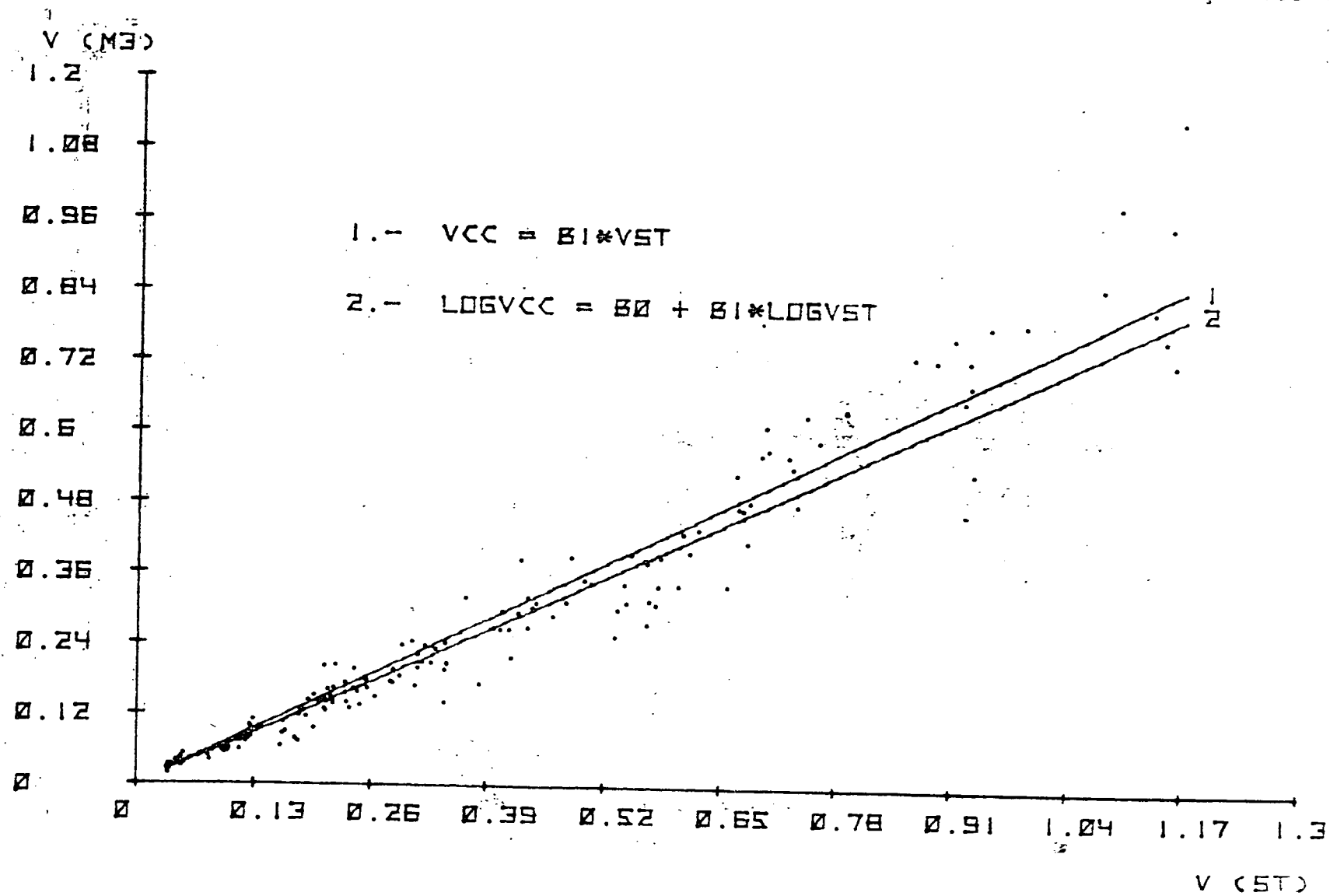


FIGURA 26 - GRÁFICO DE DOIS MODELOS PRÉ-SELECIONADOS E AJUSTADOS PARA A FUNÇÃO  $V_{sol} = f(V_{st})$

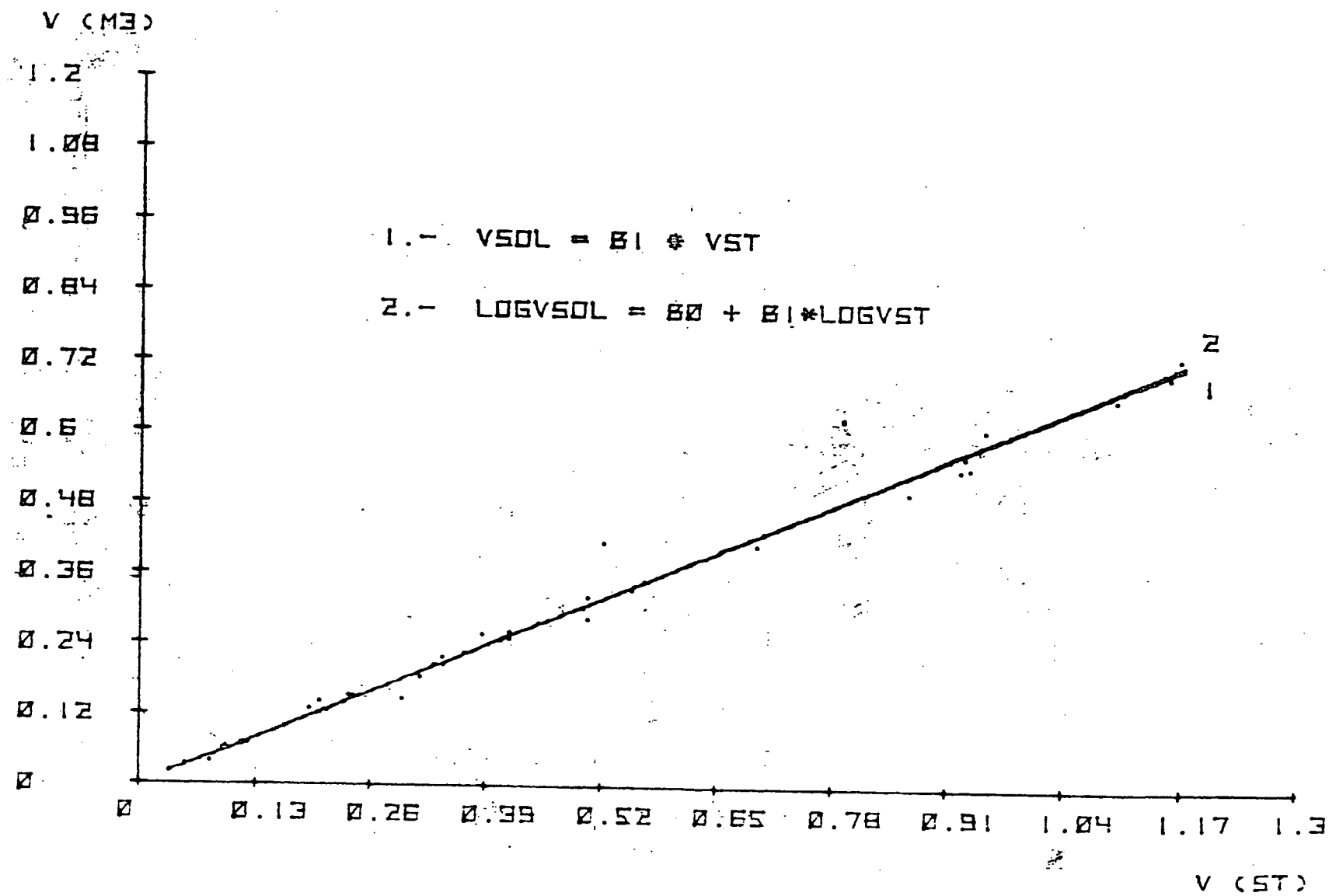


FIGURA 27 - GRÁFICO DA RELAÇÃO: VOLUME COMERCIAL COM CASCA ( $V_{cc}$ ), VOLUME SÓLIDO APROVEITÁVEL ( $V_{sol}$ ) E VOLUME EM ESTÉREOS ( $V_{st}$ )

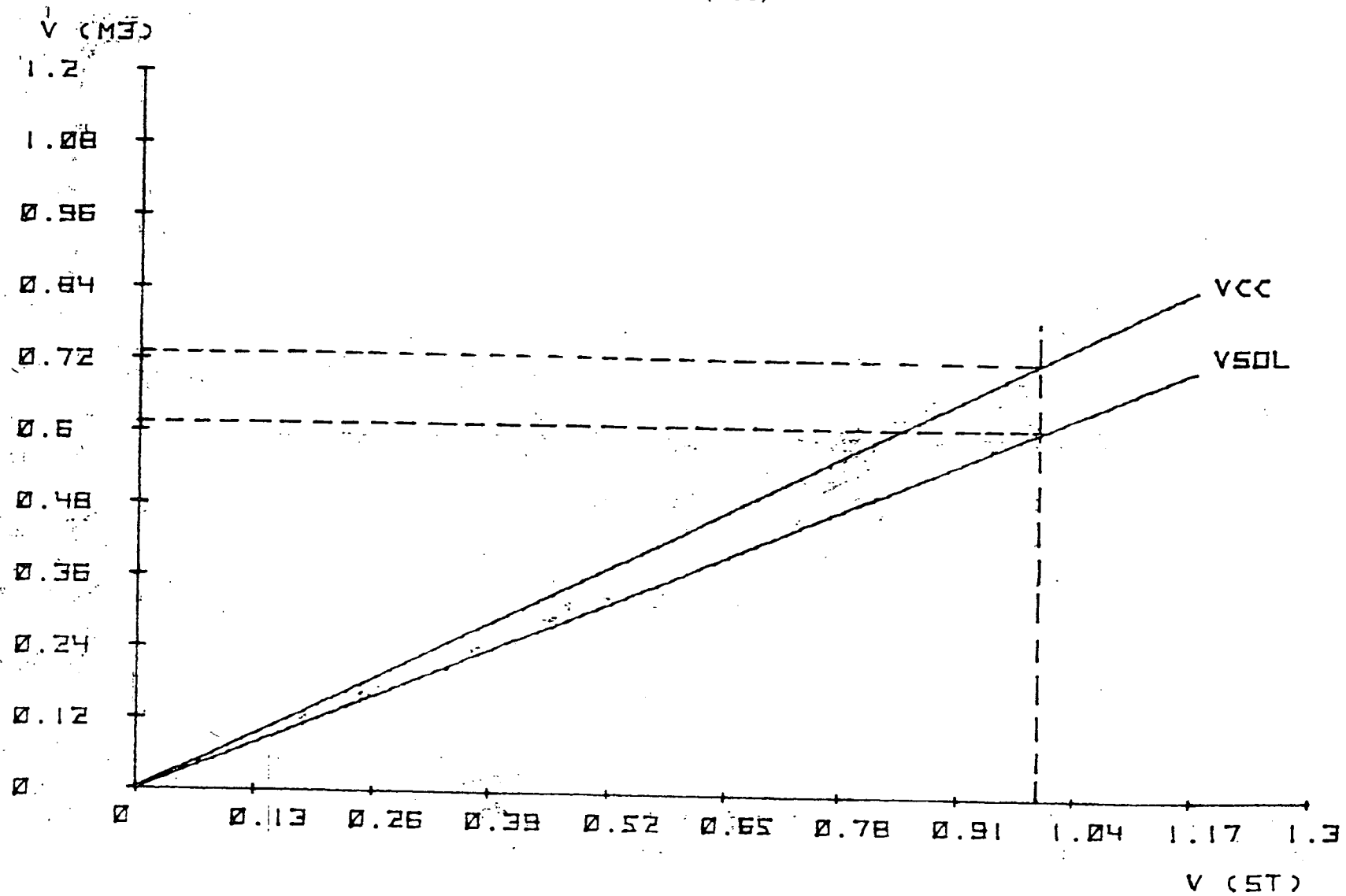


TABELA 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO: "POLINOMIAL GERAL" PROPOSTO PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS:

$$V = B_0 + B_1D + B_2H + B_3D^2 + B_4H^2 + B_5DH + B_6D^2H + B_7DH^2 + B_8(DH)^2 + B_9/DH + B_{10}(D^2H)^2$$

STEP NO. 1

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
-----	---	---	---	-----
REGRESSION	10	0.1283102042D+02	0.1283102042D+01	433.6648
RESIDUAL	146	0.4319763021D+02	0.2958741795D-02	
TOTAL	156	0.1326299672D+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.5439431767D-01  
 COEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9674299624D+00  
 MULT. CORRELATION COEFF. = 0.9835801759D+00

VARIABLE	COEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
-----	-----	-----	-----
D	0.1614825356D+00	0.0330605526D+00	0.4884
H	0.2633944681D+00	0.0370425743D+00	0.7111
D2	-0.1764994673D-02	0.9316103475D-02	-0.1895
H2	-0.1575365570D-01	0.1333595758D-01	-1.1813
DH	-0.5011297962D-01	0.03815384178D-01	-1.3134
D2H	0.1094092303D-02	0.1048055408D-02	0.10439
DH2	0.2557266777D-02	0.1362930019D-02	1.8763
(DH)2	-0.6154495147D-04	0.03536369908D-04	-1.7394
1/DH	-0.4738660260D+02	0.03925924107D+02	-1.2070
(D2H)2	0.2310580684D-08	0.2167677572D-08	1.0658

CONSTANT TERM = 0.5280162435D-01  
 STD. ERROR OF CONSTANT = 0.3352978209D+01

TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O PRIMEIRO E ÚLTIMO MODELOS ESCOLHIDOS EM SEQUÊNCIA PELO STEPWISE REGRESSION DO MODELO "POLINOMIAL GERAL"

STEP NO. 1

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
-----	---	---	---	---
REGRESSION	1	0.1269015504D+02	0.1269015504D+02	933.7132
RESIDUAL	155	0.5728416756D+00	0.3695752745D-02	
TOTAL	156	0.1326299672D+02		

SID. ERROR OF ESTIMATE = 0.6279270306D-01  
 CCOEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9568290314D+00  
 MULT. CORRELATION COEFF. = 0.9781661573D+00

VARIABLE	COEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
-----	-----	-----	-----
D2H	0.6642484504D-04	0.1133570512D-05	58.5979

CONSTANT TERM = 0.1718853657D-01  
 STD. ERROR OF CONSTANT = 0.7951453429D-02

STEP NO. 2

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
-----	---	---	---	---
REGRESSION	2	0.1274338706D+02	0.6371693529D+01	1888.4191
RESIDUAL	154	0.5190096631D+00	0.3374088721D-02	
TOTAL	156	0.1326299672D+02		

SID. ERROR OF ESTIMATE = 0.5808690663D-01  
 CCOEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9608226049D+00  
 MULT. CORRELATION COEFF. = 0.9802155910D+00

VARIABLE	COEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
-----	-----	-----	-----
D2H	0.7989531134D-04	0.3560175509D-05	22.4417
(D2H)2	-0.8339365416D-09	0.2099543180D-09	-3.9728

CONSTANT TERM = -0.1663917355D-01  
 STD. ERROR OF CONSTANT = 0.1141291193D-01

TABELA 7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO: "LORARÍTMICO GERAL", PROPOSTO PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS:

$$\begin{aligned} \log V = & B_0 + B_1 \log D + B_2 \log H + B_3 \log D^2 + B_4 \log H^2 + \\ & + B_5 \log DH + B_6 \log D^2 H + B_7 \log DH^2 + B_8 \log^2 D^2 H + \\ & + B_9 \log D \cdot \log H + B_{10} \log^2 D \cdot \log H + B_{11} \log D \log^2 H + \\ & + B_{12} \log(\log D^2 H) \end{aligned}$$

STEP NO. 1

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
REGRESSION	12	0.2198172245D+02	0.1831810204D+01	948.5824
RESIDUAL	144	0.7567282532D+00	0.5255057314D-02	
TOTAL	156	0.2273845070D+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.7249177411D-01  
CCEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9667203248D+00  
MULT. CORRELATION CCEFF. = 0.9832193676D+00

VARIABLE	CCEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
log D	0.1889984667D+03	0.2003103057D+03	0.9435
log H	0.3931309530D+03	0.2147276267D+03	1.8308
log D2	0.2361472571D+03	0.1526539993D+03	1.5469
log H2	0.2758969991D+03	0.1550241182D+03	1.7799
log DH	0.3430288095D+02	0.1995294956D+03	0.1719
log D2H	-0.1598401025D+03	0.1739819470D+03	-0.9187
log DH2	-0.4265669427D+03	0.1767752858D+03	-2.4131
log2(D2H)	0.4227735916D+01	0.3896315059D+01	1.0851
logD.logH	-0.6763774520D+01	0.1550394456D+02	-0.4363
log2D.logH	-0.9949033637D+01	0.8601493718D+01	-1.1567
logD.log2H	0.6410673223D+01	0.2660176588D+01	2.4099
log(logD2H)	0.7912356468D+02	0.8291876686D+02	0.9542

CONSTANT TERM = 0.1779773487D+02  
STD. ERROR OF CONSTANT = 0.2536594818D+02

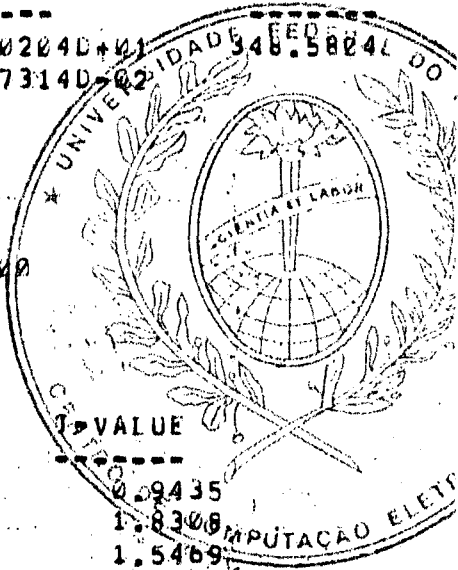


TABELA 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O PRIMEIRO E ÚLTIMO MODELOS ESCOLHIDOS EM SEQUÊNCIA PELO STEPWISE REGRESSION DO MODELO "LOGARÍTMICO GERAL"

STEP NO. 1

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
REGRESSION	1	0.21771051330+02	0.21771051330+02	3486.2315
RESIDUAL	155	0.96739936890+00	0.62412862510+02	
TOTAL	156	0.22738450700+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.79001811690-01  
 COEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.95745535250+00  
 MULT. CORRELATION COEFF. = 0.97849647550+00

VARIABLE	COEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
log(logD2H)	0.81148676950+01	0.13739748820+00	59.0613

CONSTANT TERM = -0.50556366490+01  
 STD. ERROR OF CONSTANT = 0.76464624850-01

STEP NO. 2

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
REGRESSION	2	0.21812378010+02	0.10906189000+02	1811.17
RESIDUAL	154	0.92607269350+00	0.60134590490+02	
TOTAL	156	0.22738450700+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.77546496050-01  
 COEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.95927283240+00  
 MULT. CORRELATION COEFF. = 0.97942474560+00

VARIABLE	COEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
log(logD2H)	0.55348925690+01	0.99335058580+00	5.5719
log D	0.76068960870+00	0.29017128200+00	2.6215

CONSTANT TERM = -0.45597726630+01  
 STD. ERROR OF CONSTANT = 0.20349853680+00



TABELA 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO: "EXPONENCIAL LINEARIZADO GERAL", PROPOSTO PARA A ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS EM ESTÉREOS:

$$\log V = B_0 + B_1 D + B_2 H + B_3 D^2 H + B_4 D H^2 + B_5 (D H)^2 + B_6 (D^2 H)^2$$

STEP NO. 1

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
REGRESSION	6	0.2181533469D+02	0.3635889115D+01	592.8278
RESIDUAL	150	0.9231160147D+02	0.6154106764D+00	
TOTAL	156	0.2273845070D+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.7844811511D-01

CCEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9594028623D+00

MULT. CORRELATION CCEFF. = 0.9794911241D+00

VARIABLE	CCEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
D	0.9258991204D-01	0.1765194075D-01	5.2453
H	-0.4563277132D-01	0.3450617751D-01	-1.3273
D2H	-0.1116733854D-03	0.7362827054D-04	-1.5167
DH2	0.4102197314D-03	0.1686287541D-03	2.4327
(DH)2	-0.1213963945D-04	0.8153346384D-05	-1.4889
(D2H)2	0.4625482644D-08	0.1738494378D-08	2.6606

CONSTANT TERM = -0.1787266421D+01

STD. ERROR OF CONSTANT = 0.3627743478D+00

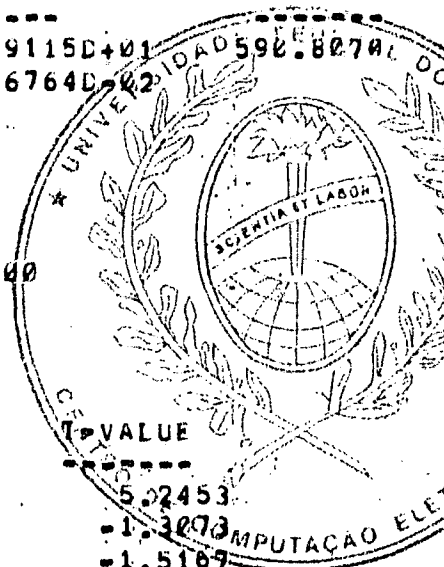


TABELA 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIAS, ESTATÍSTICAS E COEFICIENTES ESTIMADOS NO PRIMEIRO E NO ÚLTIMO PASSO EM SEQUÊNCIA PELO STEPWISE REGRESSION DO MODELO "EXPONENCIAL LINEARIZADO GERAL". O ÚLTIMO PASSO APRESENTA O "MELHOR MODELO DE REGRESSÃO"ESCOLHIDO.

STEP NO. 1

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
REGRESSION	1	0.2052211564D+02	0.2052211564D+02	1435.2198
RESIDUAL	155	0.7216335061D+01	0.1429893588D+01	
TOTAL	156	0.2273845070D+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.1195781580D+00  
CCEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9025291965D+00  
MULT. CORRELATION CCEFF. = 0.9500153664D+00

VARIABLE	CCEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
D	0.5862337931D-01	0.1547432249D-02	37.8843

CONSTANT TERM = -0.1612626762D+01  
STD. ERROR OF CONSTANT = 0.2950542686D-01

STEP NO. 6

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE				
SOURCE	D F	S S	M S	F-RATIO
REGRESSION	4	0.2180159557D+02	0.5450398893D+01	684.2996
RESIDUAL	152	0.9368551326D+00	0.6163520610D-02	
TOTAL	156	0.2273845070D+02		

STD. ERROR OF ESTIMATE = 0.7850809264D-01  
CCEFF. OF MULT. DETERMINATION = 0.9587986383D+00  
MULT. CORRELATION CCEFF. = 0.9791826379D+00

VARIABLE	CCEFF.	STD. ERROR	T-VALUE
D	0.1154568495D+00	0.6771693022D-02	13.1624
(D2H)2	0.2267308137D-08	0.7175044728D-09	3.1601
D2H	-0.2112734633D-03	0.3001245146D-04	-7.0395
DH2	0.1706679510D-03	0.1676722122D-04	10.1787

CONSTANT TERM = -0.2263081947D+01  
STD. ERROR OF CONSTANT = 0.7699867272D-01

TABELA 11 - VARIÁVEIS USADAS PARA A ESCOLHA DO "MELHOR MODELO DE REGRESSÃO", PARA A CONFECCÃO DE TABELAS DE VOLUME INDIVIDUAL EM ESTÉREOS, SEGUNDO O PROCEDIMENTO STEPWISE REGRESSION, EM FORTRAN IV

Nº	Variável	Transformação
01	D	$X(1) = CAP/3,14159$
02	H	$X(2) = H$
03	$D^2$	$X(3) = X(1)**2$
04	$H^2$	$X(4) = X(2)**2$
05	DH	$X(5) = X(1)*X(2)$
06	$D^2H$	$X(6) = X(3)*X(2)$
07	$DH^2$	$X(7) = X(1)*X(4)$
08	$(DH)^2$	$X(8) = X(5)**2$
09	1/DH	$X(9) = 1/X(5)$
10	VCC/VST	$X(10) = VCC/VST$
11	$(D^2H)^2$	$X(11) = X(6)**2$
12	log D	$X(12) = ALOG10(X(1))$
13	log H	$X(13) = ALOG10(X(2))$
14	log $D^2$	$X(14) = ALOG10(X(3))$
15	log $H^2$	$X(15) = ALOG10(X(4))$
16	log DH	$X(16) = ALOG10(X(5))$
17	log $D^2H$	$X(17) = ALOG10(X(6))$
18	log $DH^2$	$X(18) = ALOG10(X(7))$
19	log $D^2D^2H$	$X(19) = X(17)**2$
20	log D.log H	$X(20) = X(12)*X(13)$
21	log $D^2D$ .log H	$X(21) = X(12)**2*X(13)$
22	log D.log $H^2$	$X(22) = X(12)*X(13)**2$
23	log (VCC/VST)	$X(23) = ALOG10(X(10))$
24	log (log $D^2H$ )	$X(24) = ALOG10(X(17))$
25	VST	$X(25) = VST$
26	VCC	$X(26) = VCC$
27	$(VST)^2$	$X(27) = X(25)**2$
28	$(VST)^3$	$X(28) = X(25)**3$
29	log VST	$X(29) = ALOG10(X(25))$
30	Log VCC	$X(30) = ALOG10(X(26))$

TABELA 12 - ESTATÍSTICAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTROCA AUXILIAR

$$\log \hat{H} = b_0 + b_1 \log d$$

Coeficientes	t	Erro padrão	INTERVALO DE CONFIANÇA	
			Lim.inferior	Lim.superior
b <sub>0</sub> = 0,729824379	655,80	0,02828	0,674387213	0,705261545
b <sub>1</sub> = 0,339657076		0,02282	0,249921721	0,384392430
Coeficiente de Correlação Múltipla R = 0,766986				
Erro Padrão da Estimativa Syx = 1,41604				
Coeficiente de variação residual Syx% = 9,96				
Valor de "F" Calculado F' = 226,46				

TABELA 13 - ESTATÍSTICAS DOS VOLUMES INDIVIDUAIS: VOLUME COMERCIAL COM CASCA, VOLUME SÓLIDO APROVEITÁVEL, VOLUME EM ESTÉREO, E SUAS RAZÕES CORRESPONDENTES

	Vcc	Vsol	Vst	Vcc/Vst	Vsol/Vst
$\bar{X}$	0,271440764	0,289502174	0,47178696	0,686957594	0,61545705
S	0,229561737	0,209497893	0,34899935	0,117104453	0,045642722
CV	84,57157788	72,36487745	72,89305693	17,04682415	7,416064007
t <sub>05</sub> S $\bar{x}$	±0,036092411	±0,06224088	±0,102171137	±0,018411527	±0,013560249

$\bar{X}$  = média

S = desvio padrão

CV = coeficiente de variação (%)

t<sub>05</sub>S $\bar{x}$  = erro admissível a 95% de probabilidade

Vcc = volume comercial com casca

Vsol = volume sólido aproveitável

Vst = volume em estéreos

TABELA 14 - VOLUME COMERCIAL COM CASCA PARA A BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth.)

ELABORADA PARA A FLONA AÇUNGUI

FIRMA: FLORESTA NACIONAL DE ACUNGUI						ESPECIE: BRACATINGA					
VOLUME (M3) COM CASCA - EQUIVALENTE 11(CCC)											
=====											
DAP (CM)	A L T U R A (M)										
	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
7.5	0.022	0.024	0.027	0.029	0.032	0.034					
8.0	0.025	0.028	0.031	0.034	0.036	0.039					
8.5	0.028	0.031	0.035	0.038	0.041	0.045	0.042				
9.0	0.032	0.035	0.039	0.043	0.047	0.050	0.054				
9.5	0.036	0.040	0.044	0.048	0.052	0.056	0.061				
10.0	0.040	0.044	0.049	0.053	0.058	0.063	0.067				
10.5	0.044	0.049	0.054	0.059	0.064	0.070	0.075	0.080			
11.0	0.048	0.054	0.060	0.065	0.071	0.077	0.082	0.088			
11.5	0.053	0.059	0.065	0.072	0.078	0.084	0.090	0.097			
12.0	0.058	0.065	0.071	0.078	0.085	0.092	0.099	0.106			
12.5	0.063	0.070	0.078	0.085	0.093	0.100	0.108	0.115			
13.0	0.068	0.076	0.084	0.092	0.100	0.109	0.117	0.125	0.133		
13.5	0.074	0.083	0.091	0.100	0.109	0.117	0.126	0.135	0.144		
14.0	0.080	0.089	0.099	0.108	0.117	0.127	0.136	0.146	0.155		
14.5		0.096	0.106	0.116	0.126	0.136	0.147	0.157	0.167		
15.0		0.103	0.114	0.125	0.136	0.146	0.157	0.168	0.179		
15.5		0.110	0.122	0.133	0.145	0.157	0.169	0.180	0.192		
16.0		0.118	0.130	0.143	0.155	0.168	0.180	0.193	0.205	0.218	
16.5		0.126	0.139	0.152	0.165	0.179	0.192	0.205	0.219	0.232	
17.0		0.134	0.148	0.162	0.176	0.190	0.204	0.219	0.233	0.247	
17.5		0.142	0.157	0.172	0.187	0.202	0.217	0.232	0.247	0.263	
18.0			0.167	0.182	0.198	0.214	0.230	0.246	0.262	0.278	
18.5			0.176	0.193	0.210	0.227	0.244	0.261	0.278	0.295	
19.0			0.186	0.204	0.222	0.240	0.258	0.276	0.294	0.312	
19.5			0.197	0.216	0.234	0.253	0.272	0.291	0.310	0.329	
20.0			0.208	0.227	0.247	0.267	0.287	0.307	0.327	0.347	0.367
20.5			0.219	0.239	0.259	0.281	0.302	0.323	0.344	0.366	0.387
21.0			0.230	0.252	0.274	0.296	0.318	0.340	0.362	0.384	0.407
21.5			0.241	0.264	0.287	0.311	0.334	0.357	0.380	0.404	0.427
22.0				0.277	0.302	0.326	0.350	0.375	0.399	0.424	0.448
22.5				0.291	0.316	0.342	0.367	0.393	0.418	0.444	0.470
23.0				0.304	0.331	0.358	0.384	0.411	0.438	0.465	0.492
23.5				0.318	0.346	0.374	0.402	0.430	0.458	0.486	0.514
24.0				0.333	0.362	0.391	0.420	0.449	0.479	0.508	0.538
24.5				0.347	0.377	0.408	0.438	0.469	0.500	0.531	0.561
25.0				0.362	0.393	0.426	0.457	0.489	0.521	0.553	0.585
25.5				0.378	0.411	0.444	0.477	0.510	0.543	0.577	0.610
26.0				0.393	0.428	0.462	0.496	0.531	0.566	0.601	0.635
26.5				0.408	0.444	0.481	0.517	0.553	0.589	0.625	0.661
27.0				0.423	0.459	0.499	0.538	0.577	0.616	0.655	0.694
27.5				0.438	0.474	0.519	0.558	0.597	0.636	0.675	0.714
28.0				0.453	0.489	0.539	0.580	0.620	0.661	0.701	0.742
28.5				0.468	0.504	0.560	0.601	0.643	0.685	0.726	0.768
29.0				0.483	0.519	0.580	0.624	0.667	0.711	0.754	0.798
29.5				0.499	0.534	0.601	0.646	0.691	0.737	0.782	0.827
30.0				0.514	0.549	0.623	0.669	0.716	0.763	0.810	0.857
30.5				0.529	0.564	0.645	0.693	0.741	0.790	0.838	0.887
31.0				0.544	0.579	0.667	0.717	0.767	0.817	0.867	0.918
31.5				0.559	0.594	0.690	0.741	0.793	0.845	0.897	0.949
32.0				0.574	0.609	0.713	0.766	0.819	0.873	0.927	0.981
32.5				0.589	0.624	0.736	0.791	0.846	0.902	0.957	1.011

TABELA 15 - VOLUME COM CASCA EM ESTÉREOS PARA A BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth.)

ELABORADA PARA A FLONA AÇUNGUI

PROJETO: FLORESTA NACIONAL DE ACUNGUI						- ESPECIE: BRACATINGA					
VOLUME (ST) COM CASCA - EQUACAO: S											
A L T U R A (M)											
DAP (CM)	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
7.5	0.028	0.033	0.037	0.041	0.045	0.050					
8.5	0.034	0.038	0.043	0.046	0.053	0.058					
9.5	0.039	0.045	0.050	0.056	0.061	0.067	0.073				
10.5	0.045	0.051	0.058	0.064	0.070	0.077	0.083				
11.5	0.052	0.059	0.066	0.073	0.080	0.087	0.094				
12.5	0.058	0.066	0.074	0.082	0.089	0.097	0.105				
13.5	0.066	0.074	0.083	0.091	0.100	0.108	0.117	0.125			
14.5	0.073	0.082	0.092	0.101	0.111	0.120	0.129	0.139			
15.5	0.081	0.091	0.102	0.112	0.122	0.132	0.142	0.153			
16.5	0.089	0.100	0.112	0.123	0.134	0.145	0.156	0.167			
17.5	0.098	0.110	0.122	0.134	0.146	0.158	0.170	0.182			
18.5	0.107	0.120	0.133	0.146	0.159	0.172	0.184	0.197	0.210		
19.5	0.116	0.130	0.144	0.158	0.172	0.186	0.199	0.213	0.226		
20.5	0.125	0.141	0.156	0.170	0.185	0.200	0.215	0.229	0.243		
21.5		0.151	0.167	0.183	0.199	0.215	0.230	0.246	0.261		
22.5		0.163	0.180	0.197	0.213	0.230	0.247	0.263	0.279		
23.5		0.174	0.192	0.210	0.228	0.246	0.263	0.280	0.299		
24.5		0.186	0.205	0.224	0.243	0.262	0.280	0.298	0.317	0.333	
25.5		0.198	0.219	0.239	0.258	0.278	0.296	0.315	0.336	0.355	
26.5		0.211	0.232	0.253	0.274	0.295	0.315	0.334	0.355	0.376	
27.5		0.224	0.246	0.268	0.290	0.312	0.334	0.355	0.376	0.397	
28.5			0.260	0.284	0.307	0.330	0.352	0.374	0.396	0.418	
29.5			0.275	0.299	0.323	0.347	0.371	0.394	0.417	0.440	
30.5			0.290	0.315	0.340	0.365	0.390	0.415	0.439	0.463	
31.5			0.305	0.331	0.356	0.381	0.406	0.431	0.456	0.480	0.504
32.5			0.320	0.346	0.371	0.396	0.421	0.446	0.471	0.495	0.519
33.5			0.336	0.362	0.387	0.412	0.437	0.462	0.487	0.512	0.536
34.5			0.351	0.377	0.402	0.427	0.452	0.477	0.502	0.527	0.551
35.5			0.366	0.392	0.417	0.442	0.467	0.492	0.517	0.542	0.566
36.5			0.381	0.407	0.432	0.457	0.482	0.507	0.532	0.557	0.581
37.5			0.396	0.422	0.447	0.472	0.497	0.522	0.547	0.572	0.596
38.5			0.411	0.437	0.462	0.487	0.512	0.537	0.562	0.587	0.611
39.5			0.426	0.452	0.477	0.502	0.527	0.552	0.577	0.602	0.626
40.5			0.441	0.467	0.492	0.517	0.542	0.567	0.592	0.617	0.641
41.5			0.456	0.482	0.507	0.532	0.557	0.582	0.607	0.632	0.656
42.5			0.471	0.497	0.522	0.547	0.572	0.597	0.622	0.647	0.671
43.5			0.486	0.512	0.537	0.562	0.587	0.612	0.637	0.662	0.686
44.5			0.501	0.527	0.552	0.577	0.602	0.627	0.652	0.677	0.701
45.5			0.516	0.542	0.567	0.592	0.617	0.642	0.667	0.692	0.716
46.5			0.531	0.557	0.582	0.607	0.632	0.657	0.682	0.707	0.731
47.5			0.546	0.572	0.597	0.622	0.647	0.672	0.697	0.722	0.746
48.5			0.561	0.587	0.612	0.637	0.662	0.687	0.712	0.737	0.761
49.5			0.576	0.602	0.627	0.652	0.677	0.702	0.727	0.752	0.776
50.5			0.591	0.617	0.642	0.667	0.692	0.717	0.742	0.767	0.791
51.5			0.606	0.632	0.657	0.682	0.707	0.732	0.757	0.782	0.806
52.5			0.621	0.647	0.672	0.697	0.722	0.747	0.772	0.797	0.821
53.5			0.636	0.662	0.687	0.712	0.737	0.762	0.787	0.812	0.836
54.5			0.651	0.677	0.702	0.727	0.752	0.777	0.802	0.827	0.851
55.5			0.666	0.692	0.717	0.742	0.767	0.792	0.817	0.842	0.866
56.5			0.681	0.707	0.732	0.757	0.782	0.807	0.832	0.857	0.881
57.5			0.696	0.722	0.747	0.772	0.797	0.822	0.847	0.872	0.896
58.5			0.711	0.737	0.762	0.787	0.812	0.837	0.862	0.887	0.911
59.5			0.726	0.752	0.777	0.802	0.827	0.852	0.877	0.902	0.926
60.5			0.741	0.767	0.792	0.817	0.842	0.867	0.892	0.917	0.941
61.5			0.756	0.782	0.807	0.832	0.857	0.882	0.907	0.932	0.956
62.5			0.771	0.797	0.822	0.847	0.872	0.897	0.922	0.947	0.971
63.5			0.786	0.812	0.837	0.862	0.887	0.912	0.937	0.962	0.986
64.5			0.801	0.827	0.852	0.877	0.902	0.927	0.952	0.977	1.001
65.5			0.816	0.842	0.867	0.892	0.917	0.942	0.967	0.992	1.016
66.5			0.831	0.857	0.882	0.907	0.932	0.957	0.982	1.007	1.031
67.5			0.846	0.872	0.897	0.922	0.947	0.972	0.997	1.022	1.046
68.5			0.861	0.887	0.912	0.937	0.962	0.987	1.012	1.037	1.061
69.5			0.876	0.902	0.927	0.952	0.977	1.002	1.027	1.052	1.076
70.5			0.891	0.917	0.942	0.967	0.992	1.017	1.042	1.067	1.091
71.5			0.906	0.932	0.957	0.982	1.007	1.032	1.057	1.082	1.106
72.5			0.921	0.947	0.972	0.997	1.022	1.047	1.072	1.097	1.121
73.5			0.936	0.962	0.987	1.012	1.037	1.062	1.087	1.112	1.136
74.5			0.951	0.977	1.002	1.027	1.052	1.077	1.102	1.127	1.151
75.5			0.966	0.992	1.017	1.042	1.067	1.092	1.117	1.142	1.166
76.5			0.981	1.007	1.032	1.057	1.082	1.107	1.132	1.157	1.181
77.5			0.996	1.022	1.047	1.072	1.097	1.122	1.147	1.172	1.196
78.5			1.011	1.037	1.062	1.087	1.112	1.137	1.162	1.187	1.211
79.5			1.026	1.052	1.077	1.102	1.127	1.152	1.177	1.202	1.226
80.5			1.041	1.067	1.092	1.117	1.142	1.167	1.192	1.217	1.241
81.5			1.056	1.082	1.107	1.132	1.157	1.182	1.207	1.232	1.256
82.5			1.071	1.097	1.122	1.147	1.172	1.197	1.222	1.247	1.271
83.5			1.086	1.112	1.137	1.162	1.187	1.212	1.237	1.262	1.286
84.5			1.101	1.127	1.152	1.177	1.202	1.227	1.252	1.277	1.301
85.5			1.116	1.142	1.167	1.192	1.217	1.242	1.267	1.292	1.316
86.5			1.131	1.157	1.182	1.207	1.232	1.257	1.282	1.307	1.331
87.5			1.146	1.172	1.197	1.222	1.247	1.272	1.297	1.322	1.346
88.5			1.161	1.187	1.212	1.237	1.262	1.287	1.312	1.337	1.361
89.5			1.176	1.202	1.227	1.252	1.277	1.302	1.327	1.352	1.376
90.5			1.191	1.217	1.242	1.267	1.292	1.317	1.342	1.367	1.391
91.5			1.206	1.232	1.257	1.282	1.307	1.332	1.357	1.382	1.406
92.5			1.221	1.247	1.272	1.297	1.322	1.347	1.372	1.397	1.421
93.5			1.236	1.262	1.287	1.312	1.337	1.362	1.387	1.412	1.436
94.5			1.251	1.277	1.302	1.327	1.352	1.377	1.402	1.427	1.451
95.5			1.266	1.292	1.317	1.342	1.367	1.392	1.417	1.442	1.466
96.5			1.281	1.307	1.332	1.357	1.382	1.407	1.432	1.457	1.481
97.5			1.296	1.322	1.347	1.372	1.397	1.422	1.447	1.472	1.496
98.5			1.311	1.337	1.362	1.387	1.412	1.437	1.462	1.487	1.511
99.5			1.326	1.352	1.377	1.402	1.427	1.452	1.477	1.502	1.526
100.5			1.341	1.367	1.392	1.417	1.442	1.467	1.492	1.517	1.541
101.5			1.356	1.382	1.407	1.432	1.457	1.482	1.507	1.532	1.556
102.5			1.371	1.397	1.422	1.447	1.472	1.497	1.522	1.547	1.571
103.5			1.386	1.412	1.437	1.462	1.487	1.512	1.537	1.562	1.586
104.5			1.401	1.427	1.452	1.477	1.502	1.527	1.552	1.577	1.601
105.5			1.416	1.442	1.467						

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AHRENS, S. Um modelo matemático para volumetria comercial de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., Curitiba, 1981. Curitiba, EMBRAPA, 1981. 198 p.
- 2 ALDER, D. Forest volume estimation and yield prediction: yield prediction. Roma, FAO, 1980. v. 2, 194 p.
- 3 ANUCHIN, N.P. Forest mensuration. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translation, 1970. 494 p.
- 4 AVERY, T.E. Natural resources measurements. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1975. 339 p.
- 5 AYRES Jr., F. Fundamentos de matemáticas superiores. Colombia, McGraw-Hill, 1970. 440 p.
- 6 BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.E. & PINTO, V.A. Geologia do precâmbrico e intrusivas subsequentes da porção oriental do Estado do Paraná. B. Par. Geociências, 23-25, 1967.
- 7 BRUCE, D.E. & SCHUMACHER, F.X. Forest mensuration. New York, McGraw-Hill, 1950. 483 p.
- 8 CAILLIEZ, F. Forest volume estimation and yield prediction. Roma, FAO, 1980. v.1, 98 p.
- 9 CARVALHO, P.E.R. Composição natural de bracatinga. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., Curitiba, 1981. Curitiba, EMBRAPA, 1981. 198 p.
- 10 CHAPMANN, H.H. & MEYER, W.H. Forest mensuration. New York, McGraw-Hill, 1949. 522 p.
- 11 DIETZ, P. Die Vermessung von Industrieholz nach Gewicht. Freiburg i. Br., Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg, 1966. 336 p.

- 12 DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. 2.ed. New York, John Wiley, 1966. 407 p.
- 13 EZEKIEL, M. & FOX, K.A. Methods of correlation and regression analysis. New York, John Wiley, 1976. 548 p.
- 14 FREESE, F. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Mexico, AID, 1970. 105 p.
- 15 \_\_\_\_\_. Linear regression methods forest research. U.S. For. Serv. Res. Pap. FPL-17, 1964. 137 p.
- 16 \_\_\_\_\_. Testing accuracy. For. Sci., 6(2): 139-45, 1960.
- 17 FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci., 7(4): 337-41, 1981.
- 18 GOLFARI, L. Coníferas aptas para o reflorestamento nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. B. Técn. IBDF,
- 19 GOMES, A.M. de A. Medição de arvoredos. Lisboa, Liv. Sá da Costa, 1959. 413 p.
- 20 GRODZKI, M.R. Relatório da Floresta Nacional de Açungui. s.n.t.
- 21 HAMILTON, G.J. Forest mensuration handbook. Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1975. 275 p.
- 22 HIGUCHI, N. Tabelas de volume para povoamentos nativos de canafístula (Leguminosae), cedro (Meliaceae), pau-marfim (Rutaceae) e canelas (Lauraceae) no extremo oeste paranaense. Curitiba, 1978. 76 f. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- 23 HUSCH, B.; MILLER, C.H. & DEERS, F. Forest mensuration. 2.ed. New York, Ronald Press, 1972. 410 p.
- 24 INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Estudo sobre a biomassa energética da bracatinga (Mimosa scabrella Benth). Curitiba, IBDF/FUPEF, 1982. 46 p.
- 25 KLEIN, R.M. & HATSCHBACH, G. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do município de Curitiba e arredores. B. Univ. Paraná, 4: 1-30, 1962.



- 26 KOZAK, A. notes on regression and correlation analysis as important tools in forest research. In: IUFRO FORESTRY CONGRESS, 16., Oslo, 1976. Proceedings... Vienna, IUFRO, 1976.
- 27 LANLY, J.P. Manual of forest inventory. Roma, FAO, 1977. 200 p.
- 28 LISBÃO, L. Bracatinga como fonte energética. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., Curitiba, 1981. Curitiba, EMBRAPA, 1981. 197 p.
- 29 LOETSCH, F.; ZÖHRER, F. & HALLER, K.E. Forest inventory. Munchen, BLV, 1973. 2 v. 469 p.
- 30 MACKAY, E. Dasometria. Madrid, Escuela Técnica de Ingenieros de Montes, 1964. 759 p.
- 31 MEYER, H.A. A correction for a systematic error occurring in application of logarithmic volume equation. Pennsylvania For. School Research Paper -7, 1971. 3 p.
- 32 MYERS, W.L. User's guide to EZLS regression program. 2.ed. Michigan, Michigan State University, s.d. (Fotocopiado)
- 33 OSTLE, B. & MENSING, R.W. Statistics in research. Iowa State University, 1975. 596 p.
- 34 PAULA NETO, F.; SILVA, J.A.; FERREIRA, V.O.; PEREIRA, L.H.; CAMPOS, T.M. Estimativa do volume comercial de *Eucalyptus microcorys* em regime de altofuste, na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. Brasil flor., 34: 57-62, 1978.
- 35 PÉLLICO NETTO, S. & MOREIRA, R.M. Desenvolvimento florestal da Província do Niassa, República Popular de Moçambique. Relatório trimestral: outubro 1980 a janeiro 1981, janeiro-abril 1981. Curitiba, MADEBRAS/FUPEF, 1981.
- 36 PRODAN, M. Holzmesslehre. Frankfurt, J.D. Sauerlander, 1965. 644 p.
- 37 RESENDE, P.W. Madeira, carvão e gusa: uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte, Fundação CETEC, 1980. 158 p.
- 38 ROJAS, A.M. Dasometria práctica. Colombia, Universidad de Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal, 1977.

- 39 ROSOT, N.C. Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste. Curitiba, 1980. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- 40 ROTTA, E. & OLIVEIRA, Y.M.M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., Curitiba, 1981. Curitiba, EMBRAPA, 1981. 197 p.
- 41 SADOSKY, M. Cálculo numérico e gráfico. Rio de Janeiro, Interciência, 1980. 306 p.
- 42 SCHNEIDER, P.R. Modelos de equações e tabelas para avaliar o peso de casca de Acácia negra, *Acácia mearnsii* de Will. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias, 1978. 149 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- 43 SILVA, J.A. da & PAULA NETO, F. da. Princípios básicos de dendrometria. Recife, UFRPE, 1979. 185 p.
- 44 SNEDECOR, G.W. Métodos de estadística, su aplicación a experimentos en agricultura y biología. Argentina, ACNE, 1948. 557 p.
- 45 SPIEGEL, M.R. Estadística. Mexico, McGraw-Hill, 1975. 310 p.
- 46 SPURR, S.H. Forest inventory. New York, Ronald Press, 1952. 476 p.
- 47 TARAS, M.A. Predicted green lumber and yield from the merchantable stem of Loblolly pine. U.S. For. Serv. Res. Paper SE-121, 1974. 11 p.
- 48 WENDLING, W.T. Metodologia para elaboração de tarifas de volume individual. Curitiba, 1978. 77 p. Dissertação. Mestrado. Setor de Ciências Agrárias-UFPR. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- 49 ZAR, J.H. Bioestatistical analysis. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1974. 620 p.